



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**OPTIMALIZACE METOD PRO STANOVENÍ
TRVANLIVOSTI NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ NA DŘEVO**

OPTIMIZATION OF METHODS FOR DETERMINING THE DURABILITY OF WOOD COATING
SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michael Škvařil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAN VANĚREK, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Michael Škvařil
Název	Optimalizace metod pro stanovení trvanlivosti nátěrových systémů na dřevo
Vedoucí práce	doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018
V Brně dne 30. 11. 2017	

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Wood handbook, Wood as an engineering material. Chapter 15 Finishing of Wood; Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 1999. 463 p
Ambrožová, E. Nátěry dřeva. Praha: Grada Publishing, 2000. ISBN 80-7169-924-1
Vlad-Cristea, M., Riedl, B., Blanchet, P. and Jimenez-Pique, E. Nanocharacterization techniques for investigating the durability of wood coatings In European Polymer Journal 48 (2012) p. 441-453
Creemers, J., de Meijer, M., Zimmermann, T., and Sell, J., "Influence of Climatic Factors on the Weathering of Coated Wood," Holz als Roh-und Werkstoff 60, 411–420 (2000).

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V problematice sekundární ochrany dřeva je v poslední době kladen důraz na environmentální požadavek, kdy vývoj nátěrových systémů směřuje do vodouředitelných (disperze, emulze) systémů jako alternativy k roztokovým syntetickým nátěrům. Z hlediska požadavků na parametry NS je kladen důraz na zlepšení pružnosti krycí vrstvy, přilnavosti vrchního nátěru a odolnosti vůči klimatickým faktorům. Finální trvanlivost nátěrů na dřevo pak je prokazována zkouškami krátkodobými a dlouhodobými za pomoci měření vybraných vlastností nátěrů.

Cílem navrhované bakalářské práce je u smrkového řeziva aplikovat nátěrové systémy s různou pojivovou bází (vodouředitelné disperzní a syntetické), u nichž budou rovněž sledovány i parametry technologické (počet vrstev, druh aplikace NS) a u kterých bude zjišťována finální odolnost proti vnějším vlivům. Dílčí cíle práce lze tedy shrnout v následující:

1. Provedte podrobnou analýzu nátěrových systémů na dřevo včetně specifikace jejich složení, zejména se zaměřením na novodobé vodouředitelné nátěrové systémy.
2. Rešeršním hodnocením vědeckých prací provedte soupis metod, kterými lze kromě běžných normativních postupů hodnotit stav nátěrových systémů (např. mikrotvrdosti, atp.)
3. Vybrané druhy nátěrů aplikujte na smrkové řezivo při určeném množství a v průběhu krátkodobé expozice a dlouhodobé expozice těchto vzorků provedte průběžnou analýzu případných změn vybraných parametrů nátěru, kterými lze kvantifikovat jejich odolnost proti povětrnosti. Porovnejte rovněž případné rozdíly v kinetice chování degradace NS v obou dvou expozicích.
4. Z dosažených výsledků vyhodnoťte případný vliv technologických operací (tloušťka nátěru, druh aplikace nátěru – nástřik, nátěr) na jeho odolnost proti povětrnosti.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá optimalizací metod pro stanovení trvanlivosti nátěrových systémů na dřevo. Teoretická část se zabývá podrobnou analýzou nátěrových systémů na dřevo včetně specifikace jejich složení, zejména se zaměřením na novodobé vodouředitelné nátěrové systémy. V praktické části byl proveden experiment, kde u vybraných druhů nátěrů aplikovaných na řezivo byla provedena analýza vybraných trvanlivostních parametrů nátěrů po jejich vystavení krátkodobé a dlouhodobé expozici degradačním činitelům.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nátěrový systém, trvanlivost, nátěrová hmota, UV záření, povětrnost

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the optimization of methods for determining the durability of wood coating systems. The theoretical part deals with a detailed analysis of wood coating systems, including the specification of their composition, especially with a focus on modern water-borne coating systems. In the practical part an experiment was carried out, where on the selected types of coatings applied to lumber was performed analysis of selected durability parameters of coatings after exposure to short-term and long-term exposure to degradation factors.

KEYWORDS

Coating system, durability, paintings, UV radiation, weathering

Bibliografická citace VŠKP

Michael Škvařil *Optimalizace metod pro stanovení trvanlivosti nátěrových systémů na dřevo*. Brno, 2018. 55 s., 56 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 5. 2018

titul jméno a příjmení studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval především svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Janu Vaněrkovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace a odborné vedení a rovněž bych chtěl poděkovat Ing. Tomáši Melicharovi, Ph.D. za pomoc při provádění a vyhodnocení dílčích zkoušek. A dále zástupci společnosti DEK a.s., konkrétně panu Ing. Antonínu Žákovi, Ph.D., za poskytnutí technického zázemí v rámci provádění trvanlivostních zkoušek.

OBSAH:

1	Úvod	11
2	Nátěrové hmoty na dřevo.....	12
2.1	Rozdělení nátěrových systémů	12
2.1.1	Dle podílu pigmentu:.....	12
2.1.2	Dle typu materiálové báze:	14
2.1.3	Dle klasifikace podle normy ČSN EN 927-1	15
2.1.4	Podle počtu složek.....	15
2.1.5	Podle pořadí nanášení jednotlivých vrstev	16
2.1.6	Dle účelu použití:	16
2.2	Složky nátěrových hmot	16
2.2.1	Pojiva:.....	16
2.2.2	Plniva	18
2.2.3	Aditiva	18
3	Posouzení trvanlivosti NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ NA DŘEVO	19
3.1	Destruktivní zkoušky (polodestruktivní)	19
3.2	Nedestruktivní zkoušky	22
3.3	Trvanlivostní zkoušky	24
4	rešerše Životnosti nátěrových hmot	27
4.1	Posouzení životnosti pomocí nanocharakterizační techniky	27
4.2	Určení změny chemismu pojiva	28
5	Cíl	29
6	Metodický postup práce	30
6.1	Etapa I – Optimalizační výběr NS	30
6.2	Etapa II – Metodika posouzení trvanlivosti NS	30
6.3	Etapa III – Praktické ověření navržené metodiky u vybraných typů NS	30
7	Etapa I. - Optimalizační výběr nátěrového systému.....	31
7.1	Vodouředitelná alkydová báze	31
7.2	Vodouředitelná akrylová báze	32
7.3	Polyuretanová báze.....	33
7.4	Roztokové (syntetické)	34
7.5	Optimalizace výběru dle Fullerovy metody	36

8	Etapa II. Metodika posouzení trvanlivosti NS.....	39
8.1	Výběr trvanlivostní zkoušky pro nátěrové systémy.....	39
8.2	Analýza a výběr metod pro ověření stavu nátěrového systému	39
9	Etapa III. - Praktické ověření navržené metodiky vybraných typů nátěrů	41
9.1	Výběr nátěrového systému.....	41
9.2	Výběr adherendu (dřeviny).....	42
9.3	Aplikace nátěrového systému	42
9.3.1	Měření mokrého filmu	42
9.4	Měření suchého filmu	43
9.4.1	Měření tloušťky suchého filmu pomocí ultrazvuku	43
9.4.2	Měření tloušťky suchého filmu pomocí mikroskopu	44
9.5	Trvanlivostní zkoušky	45
9.5.1	Zrychlené zkoušky trvanlivosti	45
9.5.2	Dlouhodobé zkoušky trvanlivosti.....	46
9.6	Posouzení nátěrového systému	46
9.6.1	Změna barevnosti	46
9.6.2	Přilnavost nátěru.....	47
10	Výsledky a diskuze zkoušek.....	48
10.1	Změna barevnosti.....	48
10.1.1	Zrychlená trvanlivostní zkouška.....	48
10.1.2	Dlouhodobá trvanlivostní zkouška	49
10.2	Přilnavost nátěru	50
10.3	Komparace trvanlivosti alkydových a akrylátových nátěrů	51
11	Závěr	53
	Bibliografie.....	54
	Seznam použitých norem	56

1 ÚVOD

Dřevo je přírodní materiál, který podléhá degradaci díky povětrnostním vlivům, UV záření a přítomnosti vlhkosti. Zvýšení trvanlivosti nátěrových systémů (dále označení NS) je klíčovým požadavkem i pro zajištění dlouhodobé životnosti dřevěných prvků.

V současné době nátěrové látky představují velmi široký sortiment výrobků, který se neustále vyvíjí. Proto nelze provést jednoznačné doporučení výrobku nebo skupiny výrobků pro určitou aplikaci. Vždy je potřeba se při výběru rozhodovat pro danou aplikaci nátěrové látky individuálně vzhledem k objektu a technologickým možnostem. [1] [2]

Nátěr je ucelený povlak na povrchu dřeva, který vznikl nanesením a zaschnutím jedné nebo více vrstev nátěrových látek. Na nátěry dřeva umístěného v exteriéru jsou kladeny vyšší nároky a požadavky než na nátěr určený pro interiér. Nátěr pro venkovní použití musí dřevo chránit před působením povětrnosti, musí být dostatečně pružný, aby kopíroval rozměrové změny dřeva v důsledku jeho navlhavosti; musí být dostatečně houževnatý, aby odolával mechanickému namáhání i vůči účinkům povětrnostním vlivům.

V současné době nátěrové látky představují velmi široký sortiment výrobků, který se neustále vyvíjí. Proto nelze provést jednoznačné doporučení výrobku nebo skupiny výrobků pro určitou aplikaci. Vždy je potřeba se rozhodovat pro danou aplikaci nátěrové látky individuálně vzhledem k objektu a technologickým možnostem. Při výběru nátěrové látky je třeba vzít v úvahu nejen její chemickou podstatu, ale i formu (krycí či lazurní, roztoková či disperzní). Nátěrový systém se může lišit mezi sebou nejen v materiálovém složení, ale rozdíl může být i v technologickém postupu, který by měl obsahovat mj. způsoby nanášení, podmínky zasychání a veškeré mezioperace, jako je broušení atd. [2]

2 NÁTĚROVÉ HMOTY NA DŘEVO

Každá nátěrová látka (hmota) je směsí dílcích složek, které osobitým způsobem ovlivňují vlastnosti a použití nátěrové látky. Nátěrové látky jsou tvořeny netěkavými složkami a těkavou složkou (rozpouštědly či ředidly). Mezi netěkavé složky nátěrové látky patří pojivo, pigmenty, plniva a pomocné látky (např. změkčovadla, fungicidy, insekticidy). Pojivo, nebo-li filmotvorná látka, po vyschnutí nátěrové hmoty spojuje součásti nátěrové látky v celek (film, nátěrovou vrstvu) s požadovanými vlastnostmi. Pojivo je hlavní složkou nátěrových látek. Chemické složení pojiva ovlivňuje aplikační vlastnosti konkrétních typů nátěrových látek i způsob jejich vysychání (fyzikální či chemický děj). Pigmenty a plniva upravují vlastnosti nátěrových látek a z nich vzniklých nátěrů. Pigmenty také ovlivňují barevnost nátěru. Pomocné látky upravují aplikační vlastnosti nátěrové látky či vlastnosti zaschlého nátěru.

2.1 Rozdělení nátěrových systémů

2.1.1 Dle podílu pigmentu:

Pigmenty jsou nerozpustné materiály velikosti jemných částic používané v povlacích z jednoho nebo více důvodů a to, aby poskytly barvu, skryly substráty, upravily aplikační vlastnosti povlaku, upravily vlastnosti filmů a snížily náklady. Pigmenty jsou rozděleny do čtyř kategorií: **bílé, barevné, inertní a funkční pigmenty**. Pigmenty jsou nerozpustné materiály používané jako koloidní disperze.

Barviva jsou rozpustné barevné látky. Používají se pouze v několika speciálních povlacích na dřevěný nábytek. [2]

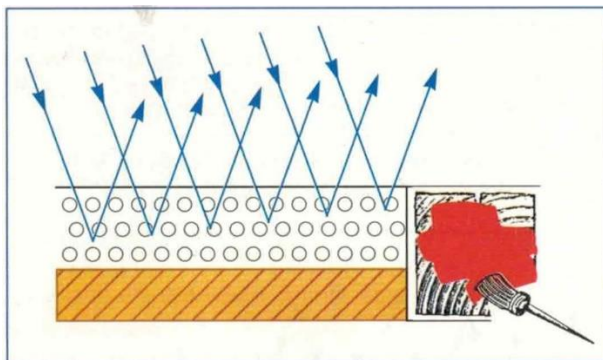
Podle podílu pigmentu lze dělit nátěrové hmoty na **bezbarvé (lazuřovací) a krycí**. S přibývajícím přísadou pigmentu se zmenšuje negativní účinek UV paprsků na povrch dřeva.

A. Lazurovací

Lazurovací nátěry se používají k zušlechtění dřeva, nicméně jsou však nevhodné jako ochrana proti povětrnosti, protože bez pigmentu nezadrží UV záření. Vlivem čehož dochází k přímému působení UV záření na strukturu dřeva, dochází k depolymerizaci ligninu, v důsledku čehož dřevo žlutne, až hnědne, případně po porušení nátěru v přítomnosti srážkové vody šedne. Pro tyto účely se některé lazurovací NS opatřují aditivy mající schopnost absorpce UV záření (UV absorbenty), které jsou schopny v tloušťce nátěru eliminovat vliv záření na degradaci dřeva.

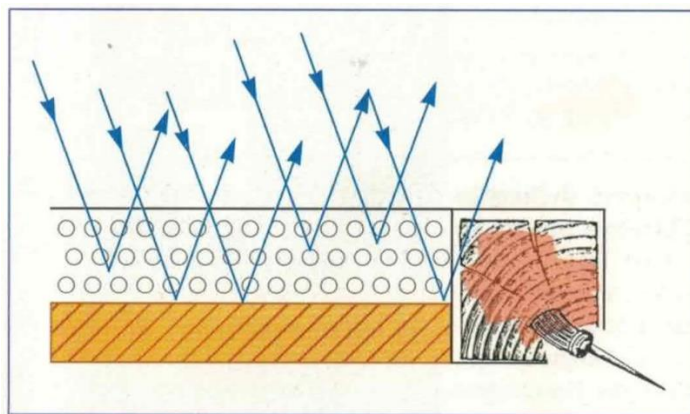
Z hlediska rozdělení těchto nátěrů lze použít kritérium tloušťky, kdy se tyto NS dělí na:

a) **Tlustovrstvé** nátěry – Jedná se o nátěry vytvářející na povrchu dřeva průsvitný neporézní film, který chrání dřevo proti degradaci a zpomaluje pronikání vlhkosti, snižují bobtnání a sesychání dřeva. [2] [3]



Obrázek č. 1: *Tlustovrstvý nátěr aplikovaný na dřevo* [4]

b) **Tenkovrstvé** nátěry – Tenkovrstvé lazury sestávají z nízkoviskózního roztoku pojiva s pevně svázanými pigmenty. Vytvářejí na povrchu dřeva tenký film, který ponechává viditelnou kresbu dřeva. Tenkovrstvé lazury u listnatého dřeva nezaplní cévy a jsou tedy propustné pro vodní páry. Vlhkost nacházející se ve dřevě může proto při zahřátí vyprchat jako vodní pára. Jsou vhodné k zušlechtnění dřeva a k ochraně proti povětrnosti u stavebních dílů, u kterých nevyžadujeme rovnoměrnou stálost. [3]



Obrázek č. 2: *Tenkovrstvý nátěr aplikovaný na dřevo* [4]

Dle způsobu aplikace a finálního vzhledu vrstvy se lazurovací nátěry rozdělují na dva základní typy [5]:

- a) **filmotvorné** - tvoří vrstvu filmu na povrchu dřeva;
- b) **penetrující** - pronikají povrchem a netvoří vrstvu filmu na povrchu dřeva.

Filmotvorné nátěry

V případě filmotvorných nátěrů vzniká neporézní film, který chrání proti degradaci a zpomaluje pronikání vlhkosti do dřeva. Jako pojivo obsahují tyto nátěry většinou vysychavé oleje a alkydové pryskyřice (nátěry ředitelné organickými rozpouštědly), dále polymerní disperze, většinou polyakrylátů, případně jejich kombinace s alkydy, nebo i samotné alkydové pryskyřice, polyuretany a jejich kombinace s polyakryláty nebo kopolymery styrenakrylátu ve formě vodných emulzí (nátěry ředitelné vodou).

Penetrující nátěry

Penetrující nátěry, které netvoří film, obsahují převážně pojivo rozpustné v organickém rozpouštědle (oleje, alkydové pryskyřice), a to v nižší koncentraci než filmotvorné nátěry. Nátěry obsahující jako pojivo polymerní disperze do dřeva nepronikají.

B. Krycí

Krycí nátěrové prostředky jsou vysoce lesklé nebo hedvábně lesklé syntetické látky, které jsou nabízeny v několika barevných odstínech. Jsou vhodné pro všechny účely a umožňují zkrášlení výrobku. Mají tu výhodu, že se musejí opravovat méně často než lazury. [3]

2.1.2 Dle typu materiálové báze:

Nátěrové látky se mohou také dělit na: roztokové, kde jsou těkavou složkou organická rozpouštědla či ředidla, disperzní, kde je těkavou složkou voda.

A. Roztoková

Mezi roztokové nátěrové látky s těkavou složkou můžeme řadit rozpouštědla a ředidla. Nepočítá-li vodu, většina moderních rozpouštědel spadá do jedné ze dvou kategorií, tj. uhlovodíkových rozpouštědel a okysličených rozpouštědel. Rozpouštědla uhlovodíků spadají do čtyř základních podkategorií: alifatické uhlovodíky, aromatické uhlovodíky, chlorované uhlovodíky a terpeny. [6] Ředidla jsou látky s nízkou molekulovou hmotností, s nízkou viskozitou a vysokou teplotou varu. Ředidla, zejména nereaktivní ředidla, jsou podobné rozpouštědlům, ale nemají prchavost

podobnou rozpouštědlům. Existují dva hlavní typy ředidel. Nereaktivní ředidla a reaktivní ředidla. [7]

B. Disperzní

Pojivem disperzních nátěrových látek jsou vodné disperze polymerů. Disperze polymerů jsou dvousložkové systémy, kde polymer tvoří rozptýlenou (dispergovanou) složku ve vodě, která vytváří spojitě prostředí. Polymer je ve vodě (v kapalném prostředí) nerozpustný. Aby byla disperze polymeru stabilní, to znamená, aby částice polymeru byly ve vodném prostředí rozptýlené, neslepovaly se a nesedimentovaly, jsou v disperzích přítomny tensidy a ochranné koloidy a další pomocné látky. Vznik filmu z disperzní nátěrové hmoty je fyzikální děj, který je založen na odpaření vody a jejím oddifundování do porézního podkladu. Částice polymeru, které si lze představit jako velmi malé lepkavé kuličky, se ukládají vedle sebe, poslepují se či se slíjí dohromady a nakonec vytvoří film. Tvorba filmu je však významně ovlivněna teplotou prostředí – minimální filmotvorná teplota. Minimální filmotvorná teplota je teplota, pod níž se z disperze již nevytvoří souvislý film. [1]

2.1.3 Dle klasifikace podle normy ČSN EN 927-1

Klasifikace nátěrových hmot a povlakových systémů se provádí podle kategorií použití ve vztahu ke stabilitě podkladu, pro který mají být použity.

Tabulka č. 1 – Klasifikace nátěru podle účelu použití

Kategorie užití	Povolené rozměrové změny dřeva	Typické příklady kategorií aplikace
Nestabilní	Rozměrové změny bez omezení	Překrývací obložení, ploty, zahradní kůlny
Polostabilní	Malé rozměrové změny povoleny	Obklady na drážku nebo péro, dřevěné domy nebo horské boudy, zahradní nábytek
Stabilní	Minimální změny	Truhlářský nábytek, včetně oken a dveří

2.1.4 Podle počtu složek

- a) **Jednosložkové:** Funguje na bázi akrylu. Vylepšuje mechanismus volných radikálů při pokojové teplotě.
- b) **Dvousložkové:** Složené z pryskyřice na bázi akrylu a iniciátoru / tvrdidla. Vytvrzuje se po míchání při pokojové teplotě. [8]

2.1.5 Podle pořadí nanášení jednotlivých vrstev

Napouštěcí vrstvy, základní vrstvy, vyrovnávací vrstvy, podkladní (krycí) vrstvy, vrchní vrstva. [9]

2.1.6 Dle účelu použití:

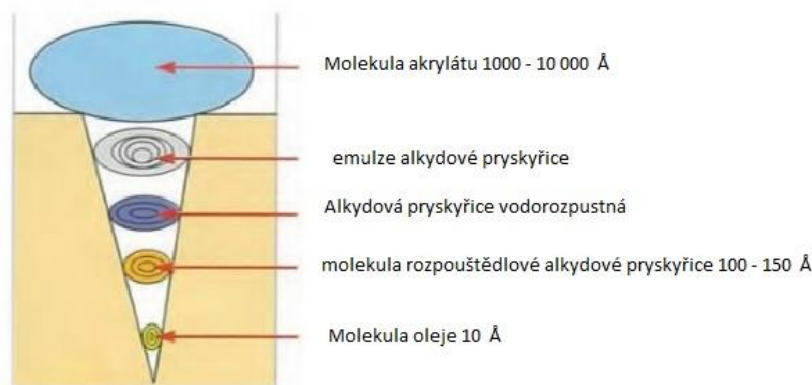
Podle účelu použití lze nátěrové systémy rozdělit na:

- venkovní – odolává povětrnostním podmínkám, slunečnímu záření, sněhu.
- vnitřní – odolává vysokému zatížení, obrusnosti a dalším aspektům.
- do vlhka – odpuzuje vodu a zachovává dřevo neporušené.

2.2 Složky nátěrových hmot

2.2.1 Pojiva:

Pojiva jsou filmotvorné látky, které spojují ostatní složky po vyschnutí. Zpravidla se pojiva vyrábí synteticky. Ze všech povlakových složek mají pojiva vliv na většinu vlastností nátěrových hmot, protože jsou primárně zodpovědné za povětrnostní odolnost nátěrů, chemickou stabilitu a mechanickou odolnost. [10]



Obrázek č. 3: Porovnání velikosti pojiv z hlediska jejich penetrace do struktury (pórů) dřeva [4]

A. Alkydové pryskyřice na olejové bázi

Alkydové pryskyřice vznikají varem dikarboxylových kyselin (např. kyseliny ftalové) s vícesytnými alkoholy (glycerol) a mastnými kyselinami (jako jsou lněný olej, sójový olej a talový olej). Podle podílu oleje můžeme dělit alkydové pryskyřice do tří skupin: a) první skupina obsahuje 40 % oleje a méně; b) druhá obsahuje 40 – 60 % oleje a poslední skupina c) nad 60 % oleje. Nátěrový film má velmi dobrou přilnavost k podkladu. Pigmentované impregnace a glazury proniknou do hloubky až 30 μm . [4]

B. Alkydové pryskyřice rozpustné ve vodě - emulze

Kromě těchto disperzí se alkydové pryskyřice emulgované ve vodě také používají pro glazury na bázi vody. Hloubka pronikání je lepší než u disperzí s velkou molekulovou hmotností, ale je podstatně nižší než u alkydových pryskyřic rozpuštěných rozpouštědly a menší než u nových jemně dispergovaných akrylátů. [4]

C. Akryláty a jejich disperze

Akryláty jsou charakterizovány vysokou pružností, odolností a není u nich ovlivněna změna barevnosti. V závislosti na druhu disperze však mohou být molekuly tak velké, že se drží jen na povrchu dřeva a nevnikají do otevřené porézní struktury dřeva. V minulosti se měly tyto povlaky tendenci odlupovat, zejména na površích lazur. [4]

D. Konsolidanty

Konsolidanty určené pro zpevňování dřeva. Jedná o moderní syntetické tvrditelné pryskyřice a vysokomolekulární polymery. Tyto syntetické konsolidanty je možné rozdělit do 3 skupin:

- Látky vytvářející prostorové sítě – syntetické tvrditelné pryskyřice, které se ve dřevě vytvrzují za tvorby nerozpustných produktů a jsou ze dřeva neodstranitelné.
- Vysokomolekulární polymery – aplikují se ve formě roztoků v rozpouštědlech a ve dřevě přecházejí na pevnou fázi odpařením rozpouštědla, jejich nevýhodou je horší penetrace do dřeva
- Monomery – dřevo je impregnováno nízkomolekulárními monomery, které ve dřevě polymerují, iniciace polymerace může být provedena chemicky nebo ionizačním zařízením.

Syntetické tvrditelné pryskyřice mají díky poměrně nízké molekulové hmotnosti (cca 300 – 3000 g·mol⁻¹) dobrou penetrační schopnost, ve dřevě vytvářejí vysokomolekulární sesíťované polymery, a proto ovlivňují příznivě mechanické vlastnosti takto zpevněného dřeva. [5]

E. Polyuretany

Polyuretany se vyrábějí reakcí vícefunkčních izokyanátů s polyalkoholy. Kombinací různých polyizokyanátů a polyalkoholů lze připravit produkty nejrůznějších vlastností. Polyuretanové nátěry mají výborné mechanické vlastnosti (např. odolnost proti otěru, trvalou elasticitu), vynikající odolnost vůči působení chemikáliím, světlu a povětrnosti. Pro nátěry dřeva se používají polyuretanové nátěrové látky:

- dvousložkové, které vytvrzují na základě chemické reakce po přidavku tužidla;
- jednosložkové, které vytvrzují chemickou reakcí se vzdušnou vlhkostí;
- nereaktivní rozpouštědlové typy, kde vysychání je fyzikální děj – odpaření rozpouštědla;
- disperzní typy, kde je polyuretanové pojivo emulgováno do vody, vysychání je fyzikální děj. Aplikace polyuretanového pojiva ve formě disperze vede k zhoršení výše uvedených vlastností polyuretanového nátěru. [2]

2.2.2 Plniva

Při volbě plniv hraje opět významnou roli funkce, kterou bude nátěr plnit. U základních nátěrů je to především funkce ochranná, u vrchních nátěrů očekáváme požadavek na mechanickou i chemickou odolnost a stabilitu barvy a lesku v daném prostředí. Plniva jsou materiály přírodního a syntetického původu dodávané ve formě prášku nebo ve formě past v tekutém médiu. Plniva tvoří v některých případech "výplň", která snižuje výslednou cenu barvy. V řadě případů vhodný výběr plniva také výrazně zlepší mechanické i optické vlastnosti nátěru. [11]

2.2.3 Aditiva

V posledních desetiletích zaznamenala obrovský rozvoj dispergační aditiva (disperzanty), která mají za úkol snížit množství použité energie a stabilizovat vytvořený systém. Účinek dispergačních aditiv je zcela srovnatelný s účinkem běžných saponátů. V rozpouštědlovém pojivu se hydrofilní části přichytí na částici pigmentu a vytvoří na povrchu obal, který je ve výsledku lehce smáčitelným pojivem díky hydrofobním řetězcům na opačné straně molekuly aditiva. Ve vodném prostředí se molekuly orientují opačným způsobem. Povrch nátěru nebývá vždy zcela kvalitní, k čemuž přispívá často i míchání vzájemně nemísitelných složek v jednom systému. Proto byla vyvinuta aditiva schopna rozlítí, která mají za úkol usnadnit vyrovnaní povrchu nátěru a odstranit povrchové vady (defekty), jako jsou stopy po tazích štětcem, krátery, dolíky, nesmočená místa na podkladu a celá řada dalších jevů způsobených zejména rozdílným povrchovým napětím nátěru a podkladu. Sortiment těchto přípravků je velmi pestrý a tvoří ho nejčastěji silikony, akryláty a polymery s obsahem fluoru. Mnoho aditiv působí vzájemně proti sobě nebo má negativní vlastnosti, které je třeba korigovat přidavkem jiného aditiva nebo úpravou koncentrace již použitých aditiv. [11]

3 POSOUZENÍ TRVANLIVOSTI NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ NA DŘEVO

K posouzení trvanlivosti lze přistupovat několika metodami mající rozdílný charakter. Základní členění těchto metod lze specifikovat následovně:

A. Destruktivní zkoušky (polodestruktivní)

- 1) Přílnavost nátěru
- 2) Tvrdost

B. Nedestruktivní zkoušky

- 1) Určení změny chemismu pojiva
- 2) Měření tloušťky mokré vrstvy
- 3) Měření tloušťky suché vrstvy
- 4) Změna barevnosti

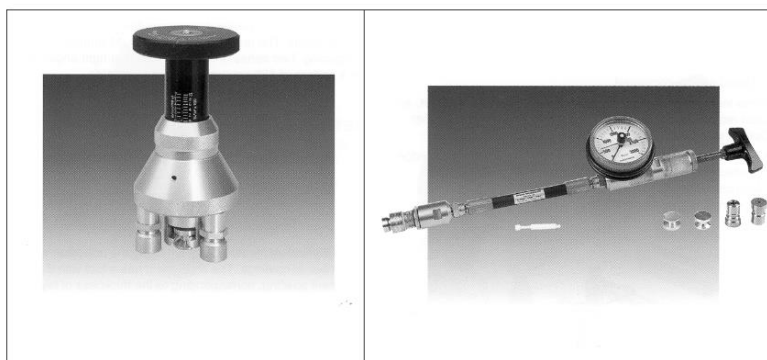
C. Trvanlivostní zkoušky.

3.1 Destruktivní zkoušky (polodestruktivní)

A. Odtrhová zkouška přílnavosti

Odtrhová zkouška přílnavosti se používá pro změření minimálního tahového napětí potřebného k oddělení nebo odtržení nátěru kolmo od podkladu u jednovrstvých nebo vícevrstevných nátěrů. Výsledkem zkoušky je minimální tahové napětí, které se musí vynaložit k roztržení nejslabší mezifáze (adhezní lom), nebo nejslabší složky (kohezní lom) zkušebního uspořádání. Při zkoušce se mohou vyskytnout oba typy lomů, adhezní i kohezní. Stanovuje se dle ČSN EN ISO 4624.

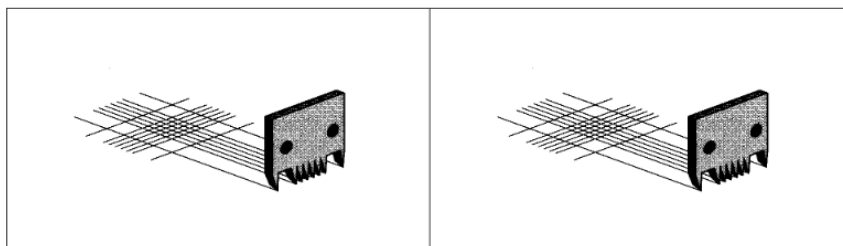
K odtrhové zkoušce přílnavosti jsou zapotřebí odtrhoměry. Pro měření minimálního tahového napětí u NS používáme například mechanický nebo pneumatický odtrhoměr. [12]



Obrázek č. 4: Odtrhoměry – mechanický a pneumatický

B. Mřížková zkouška

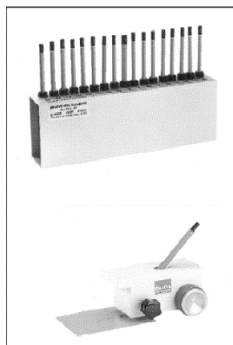
Mřížková zkouška je metoda, která nám hodnotí přilnavost povlaků na podkladovém materiálu, případně u vícevrstvých nátěrových systémů i jednotlivé vrstvy povlaků. Podstatou metody je zhotovení řezu ve tvaru mřížky do nátěru a vizuální hodnocení stavu nátěru podle stupnice. Zkušební metoda tak určuje odolnost nátěru vůči oddělení od podkladu, kdy nátěr je proříznut mřížkou k podkladu. Metoda je vhodná jak pro použití v laboratoři, tak v provozních podmínkách. Je možno ji použít pro výrok vyhovuje/nevyhovuje, dále pro hodnocení pomocí šestistupňové klasifikační stupnice. U vícevrstvého nátěrového systému je možné pomocí vhodného přípravku odlišit počet vrstev. Podle druhu podkladu, tvrdý-ocel, nebo měkký-dřevo, plasty, jsou upraveny podmínky zkoušky. Metoda není vhodná pro nátěry nad 250 μm , přesto je lze měřit jednoduchým řezným nástrojem. Není vhodná také pro nátěry s texturou. Je-li použita na nátěry s nerovným povrchem, dává výsledky s příliš velkým rozptylem. Stanovuje se dle ČSN EN ISO 2409.



Obrázek č. 5: Řezné nástroje pro mřížkovou metodu [12]

C. Stanovení povrchové tvrdosti tužkami

Povrchová tvrdost tužkami nám určuje schopnost nátěru odolávat vtlačení hrotu tužky do povrchu nátěrového filmu. Zjišťuje se povrchová tvrdost nátěrů. Povrchová tvrdost je důležitou vlastností nátěrových filmů a souvisí s ní různé mechanické vlastnosti jako pevnost, mechanická odolnost proti ohybu. Tato zkouška se provádí především při hodnocení kvality vyrobených nátěrových hmot, ale i před jejich aplikací. Je většinou součástí katalogových údajů k jednotlivým druhům nátěrových hmot. Je to nejjednodušší zkouška měření tvrdosti nátěrů a její podstatou je zjištění, která tužka ze sady tužek různé tvrdosti poruší nátěrový film. Stanovuje se dle ČSN EN ISO 15184.



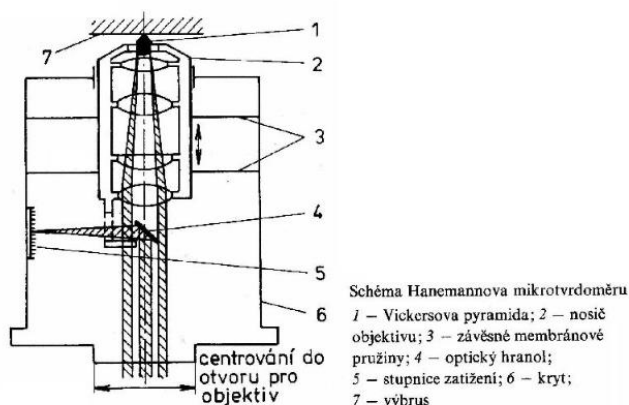
Obrázek č. 6: Sada tužek a zařízení na měření tvrdosti

D. Stanovení mikrotvrdosti

Stanovení mikrotvrdosti nám prezentuje schopnost NS odolávat vniknutí indentoru. Indentorem je čtyřboký diamantový jehlan s vrcholovým úhlem stěn 136° , takže vznikají pravidelné čtyřhranné vtisky. Tento úhel je volen tak, aby tření co nejméně ovlivňovalo výsledek a dále proto, aby se hodnoty tvrdosti příliš neodlišovaly od tvrdosti stanovené metodou dle Brinella. Stanovuje se dle ČSN EN ISO 4516.

Název mikrotvrdost se ustálil pro tvrdost určenou použitím zcela malých zatížení, tak aby vznikly vtisky nepatrné velikosti. Často se uvádí 19,8 N jako hranice mezi makro a mikrotvrdostí. Mikrotvrdost nelze určovat obvyklými tvrdoměry, neboť vyžaduje nesrovnatelně větší přesnost jak při zatěžování, tak i při proměřování vtisku. Nejpresnější je přímé zatěžování závažím nebo přesně cejchovanou pružinkou. K proměřování vtisku slouží přesná optika.

Pro zkoušky mikrotvrdosti jsou použitelné jedině vnikací metody s diamantovým indentorem (Hanemannův mikrotvrdoměr). Prakticky přichází v úvahu pouze metoda Vickersova, Knoopova nebo Bierkovičova.



Obrázek č. 7: Hanemannův mikrotvrdoměr. [13]

3.2 Nedestruktivní zkoušky

A. Určení změny chemismu pojiva

Pro případnou změnu chemického složení pojiva vlivem degradace lze využít FTIR analýzu pracující na principu interference spektra, které na rozdíl od disperzních přístrojů měří interference spektra modulovaného svazku záření po průchodu vzorkem. Tyto přístroje vyžadují matematickou metodu Fourierovy transformace, abychom získali klasický spektrální záznam.

Při měření dopadá na detektor vždy celý svazek záření, což umožňuje analyzovat materiály, při nichž dochází k velkým energetickým ztrátám, tj. u silně absorbujících vzorků. Lze provádět měření s nastavci pro analýzu pevných či kapalných vzorků v odraženém světle – reflektanční infračervená spektroskopie. [14]

B. Měření tloušťky mokré vrstvy nátěru pomocí měřicího hřebene

Tloušťka mokré vrstvy, často také označována jako WFT (*Wet Film Thickness*), je parametr, který slouží k orientačnímu výpočtu tloušťky vrstvy po vytvrzení nátěrové hmoty. WFT musí být hodnoceno bezprostředně po aplikaci nátěrové hmoty, tedy do doby, než vytěká část rozpouštědla z nátěrové hmoty. Tím je také zajištěno, že dojde k opětovnému slití barvy a nátěr nebude v daném místě poškozen. Výhodou měření tloušťky mokré vrstvy je to, že je možné i v průběhu aplikace korigovat tento parametr a dosáhnout tak optimální tloušťky suchého filmu. Stanovení tloušťky se stanovuje dle ČSN EN ISO 2808.

Měřicí hřebeny mají po svém obvodu odstupňované zuby, označené číselnou hodnotou tloušťky. Při měření je hřeben namočen kolmo do nátěrové hmoty a následně se provádí odečet ze stupnice na hřebeni.



Obrázek č. 8: Měřicí hřeben mokrého filmu

C. Měření tloušťky mokré vrstvy nátěru pomocí excentrického kolečka

Excentrické kolečko je výrazně přesnější než hřeben, po stranách kolečka jsou vodící plochy, ve středu pak excentrická plocha, ze které lze odečíst tloušťku mokrého filmu po projetí kolečka nátěrovou hmotou. [15]



Obrázek č. 9: Měřící excentrické kolečko mokrého filmu. [15]

D. Měření tloušťky suché vrstvy

K měření tloušťky suchého filmu (DFT z anglického *Dry Film Thickness*), která vzniká v podstatě po vytěkání všech rozpouštědel z mokrého filmu, lze využít měření mikroskopem, pomocí měření doby průchodu ultrazvukového impulsu nebo pomocí PIG. V případě měření ultrazvukovou metodou je nutné mezi sondu a měřený povrch nanést nepatrné množství vazebného prostředku (gelu) pro zajištění dokonalého rezonančního prostředí (např. bez přítomnosti vzduchu). Ultrazvukový impulz se po dosažení fázového rozhraní odrazí zpět, přičemž je měřen časový úsek pohybu ultrazvukového impulsu. V případě měření pomocí PIG se jedná o měření pomocí mikroskopu a klínového řezu. Při tomto postupu je používán přístroj, pomocí kterého je povlak v předepsaném úhlu seříznut až k podkladu. Mikroskopem se stupnicí se změří půdorysná šířka klínového řezu a na základě úhlu řezu se vypočítá tloušťka suché vrstvy. Obě tyto metody lze použít i k měření více vrstev u vícevrstvých systémů [16] [17]

A. Změna barevnosti

K měření změny barevnosti lze využít spektrofotometr, který využívá jako světelný zdroj pulsní xenonovou lampu s UV filtrem. Rozsah vlnových délek přístrojů bývá v rozmezí 400 – 700 nm. Přístroj je vybaven pozorovacími systémy (SCI, SCE). K měření "skutečné" barvy objektu se obvykle používá režim SCI. Tento typ měření zahrnuje zrcadlové i difúzní odražené světlo. Pro měření vzhledu barvy objektu se

běžně používá režim SCE. Tento typ měření vylučuje jakékoliv zrcadlové odražené světlo. Změnu barevnosti stanovíme dle ČSN EN ISO 11664-4. [18] [19]

3.3 Trvanlivostní zkoušky

A. Trvanlivostní zkouška dle ČSN EN 927-3

Tato trvanlivostní zkouška nám stanovuje **odolnost vůči přirozenému stárnutí zkoušeného NS** aplikovaného na dřevěný podklad. Trvanlivost se hodnotí určením změn dekorativních a ochranných vlastností NS po 12 měsících expozice. Standardní zkušební vzorek je ze dřeva borovice (*Pinus sylvestris*). Bělové dřevo, které se obvykle vyskytuje v řezaném dřevě, je zvoleno na místo jádrového dřeva, protože zbarvení je na první straně výraznější. Odchyly v kvalitě dřeva a za podmínek počasí a místa jsou rozpoznány a povoleny v metodě srovnáním zkoušky s referenčním vzorkem. Nátěr je aplikován na přední stranu, zadní strana vzorku zůstává nenatřená.

B. Trvanlivostní zkouška dle ČSN EN 927-6

Díky této zkoušce můžeme zjistit **degradaci NS na podkladu ve zrychlených testech** oproti přirozenému stárnutí. Tato zkouška se provádí na stejném podkladu jako při venkovní expozici po dobu 12 měsíců. Cyklus trvá 168 h (1 týden) a měl by se opakovat 12 krát po dobu 12 týdnů. Cyklus expozice jednoho týdne se skládá z doby kondenzace, po níž následuje dílčí cyklus rozprašování vody a ozáření (UV-A), jak je uvedeno v tabulce 2. Vzorky se vloží do komory a nechají se působit jednotlivým cyklům v komoře.

Tabulka č. 2 – Cykly zkoušky pro umělé stárnutí

Krok	Funkce	Teplota	Čas	Podmínky
1	Kondenzace	(45±3) °C	24 h	
2	Opakování kroku 3 a 4		144 h (48 x 3h) krok 3 a 4	
3	UV	(60±3) °C	2,5 h	0,89 W/(m ² nm) 340 nm
4	Kropení vodou		0,5 h	6 –7 l/min

C. Trvanlivostní zkouška dle ČSN EN ISO 15110

Touto zkouškou posuzujeme odolnost NS při vystavení venkovních klimatických podmínkách. Norma specifikuje metodu **simulace degradačního působení venkovních klimatických podmínek spolu s kyselými atmosférickými srážkami**, tzv. zkoušku ADF. Při této zkoušce se pomocí umělých kyselých srážek simuluje degradační působení kyselých atmosférických srážek spolu s UV zářením, neutrálními kondenzujícími srážkami a mění se teplotou a vlhkostí. Tato metoda zkoušení je určena k tomu, aby byla používána k hodnocení vhodnosti pro použití ve venkovních prostředích s kyselými srážkami. Degradace vzniká při této zkoušce je stejnoměrnější, stačí exponovat méně vzorků (tudíž je zkoušení rychlejší) a exponované vzorky lze vyhodnocovat metodami, které jsou objektivnější než vizuální posouzení. Vzhledem k měnícímu se průmyslovému znečištění ovzduší a následnému rozptýlení působením větru a oblačnosti (oba činitele mají náhodné rozdělení) se kyselé srážky vyskytují jen výjimečně. Účinek vystavení venkovním klimatickým podmínkám tedy v různých letech značně kolísá, zejména pokud jde o kyselé srážky. Proto je prakticky nemožné získat z venkovní expozice spolehlivé výsledky v průběhu pouhého jednoho roku.

D. Trvanlivostní zkoušky dle ASTM D1006 / D1006M - 13

Tato norma nám popisuje **odolnost NS proti slunečnímu záření, vlhkosti, teplotě a znečišťujícím látkám**. Relativní trvanlivost nátěrů při venkovních expozicích může být velmi odlišná v závislosti na umístění expozice. Sluneční záření může způsobit velké rozdíly degradace v mnoha podobách. Porovnání výsledků u materiálů vystavených krátkodobě (méně než jeden rok) se nedoporučuje, pokud nebudou materiály vystaveny současně na stejném místě. Vzhledem k meziročním klimatickým změnám nelze předpovědět stoprocentní výsledky degradace materiálu. Je potřeba opakovat několik let expozici NS k získání průměrného výsledku pro dané místo.

E. Trvanlivostní zkoušky dle ASTM D4587 - 11

Touto normou můžeme nastínit **schopnost nátěru nebo povlaku odolat poškození fyzikálních a optických vlastností způsobených vystavením světlu, teple a vodě**. Tato zkouška je určena k vyvolání změn spojených s podmínkami konečného užívání, včetně účinků slunečního záření, vlhkosti a tepla. Expozice použitá v této metodě není určena k simulaci poškození způsobeného lokalizovanými jevy počasí,

jako je znečištění atmosféry, biologické napadení a vlivu slané vody. Spektrální rozložení výkonu světla z fluorescenčních UV lamp je výrazně odlišné od spektra světla a zařízení pro vystavení účinkům vody jiným světelným zdrojům. Typ a rychlost degradace a hodnocení výkonnosti vznikající při expozici fluorescenčními UV lampami se mohou výrazně lišit od typu expozice vůči jiným typům laboratorních světelných zdrojů. Cyklus expozice se skládá z doby ozáření UV-A, po níž následuje dílčí cyklus kondenzace, jak je uvedeno v tabulce č. 3.

Tabulka č. 3 – Cykly zkoušky pro umělé stárnutí

Krok	Popis cyklu	340 nm Ozařování	Teplota	Použití
1	8 h UV 4 h Kondenzace Nepřetržité opakování	0,83 W	70 ± 2.5 °C (158 ± 5 °F) 50 ± 2.5 °C (122 ± 5 °F)	Nátěry pro automobily
2	4 h UV 4 h Kondenzace Nepřetržité opakování	0,89 W	60 ± 2.5 (140 ± 5 °F) 50 ± 2.5 (122 ± 5 °F)	Průmyslově udržované nátěry
3	4 h UV 20 h Kondenzace Nepřetržité opakování	0,89 W	60 ± 2.5 (140 ± 5 °F) 50 ± 2.5 (122 ± 5 °F)	Venkovní nátěry na dřevo
4	8 h UV 4 h Kondenzace Nepřetržité opakování	0,89 W	60 ± 2.5 (140 ± 5 °F) 50 ± 2.5 (122 ± 5 °F)	Nátěry na kov

F. Trvanlivostní zkoušky dle TP VVÚD 3.64.001

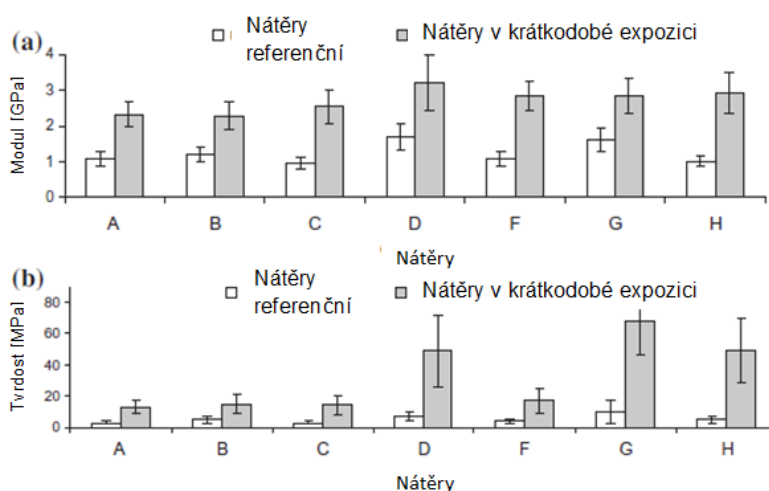
Jedná se o povětrnostní zkoušku urychlenou. Tato **zkouška simuluje urychlené stárnutí nátěrových hmot během 9 týdnů**. Během zkoušky na NS působí voda, UV záření, infračervené záření a mráz. [20]

4 REŠERŠE ŽIVOTNOSTI NÁTĚROVÝCH HMOT

Vodouředitelné nátěry pro aplikaci v exteriéru obdržely hodně pozornosti za posledních 15-20 let. Zvýšení trvanlivosti NS je klíčovým požadavkem na zajištění jejich dlouhodobé životnosti pro vystavení do exteriéru. Povětrnostní vlivy, ultrafialové (UV) záření, přítomnosti vody a kyslíku vedou i ke kritickým faktorům degradaci NS.

4.1 Posouzení životnosti pomocí nanocharakterizační techniky

Nanocharakterizační techniky byly použity ke zkoumání trvanlivosti akrylátových vodou ředitelných NS modifikovaných anorganickými absorbéry UV záření. Za UV absorbéry byly použity různé typy nanočástic (ZnO , TiO_2 a SiO_2). Takto modifikované nátěry pro venkovní použití byly vystaveny cyklům umělého stárnutí. Za parametr k prokázání kvality nátěru byla zvolena metoda nanoindentace k prokázání případné změny tvrdosti a modulu pružnosti po ukončeném trvanlivostním testu. Degradční mechanismus NS byl zkoumán pomocí (AFM) k zobrazení trojrozměrného povrchu nátěru (poskytuje informace o morfologii a mikrostrukturální změně nátěru). Získané výsledky ukázaly, že nanoindentační technika ve spojení s AFM může být uspokojivě použita pro zkoušení trvanlivosti a k predikci životnosti nanokompozitních NS na dřevo. [1]



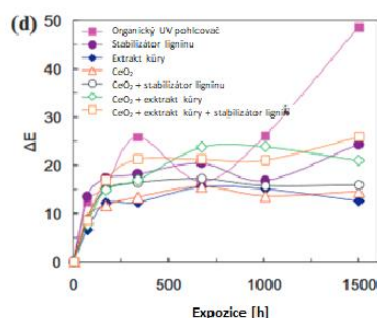
Graf č. 1: Změny v mechanických vlastnostech během krátkodobé expozice (a) modul, (b) tvrdost (legenda – A-bez nanočástic, B-1 % ZnO , C-2 % ZnO , D-2 % ZnO , E-2 % ZnO , F-1 % TiO_2 , G-1 % TiO_2 + 1 % SiO_2 , H-1 % TiO_2 + 1 % SiO_2)

U prezentujících výsledků zkoušek nátěrů jsou patrné změny mechanických parametrů stanovených nanoindentací po ukončení cyklu umělého stárnutí. Výsledky

potvrdily, že nátěr obsahující povlak nanočástic má pozitivní vliv na tvrdost a Youngův modul akrylátových nátěrů s UV absorbéry.

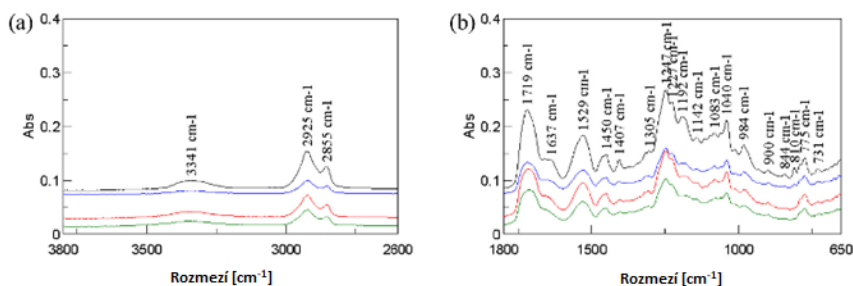
4.2 Určení změny chemismu pojiva

Tepelně ošetřené dřevo vykazuje vyšší trvanlivost, nicméně se snižuje jeho pevnost a sekundárním projevem je i změna barvy při expozici vnějšímu prostředí. Pro tyto účely byl proveden experiment s vývojem účinného ochranného povlaku (aplikace nanočástic CeO_2 samotných nebo v kombinaci se stabilizátorem ligninu a / nebo extraktem kůry). Takto modifikované nátěrové systémy v akrylát polyuretanovém pojivu byly vystaveny zrychlené zkoušce trvanlivosti. Případná degradace pojiva nátěrů na vzorcích byla analyzována pomocí změny barevnosti a FTIR analýzou. Barva všech vzorků byla měřena před a po vystavení zrychlené zkoušce trvanlivosti kolorimetrem (světelný zdroj simulující denní světlo).



Graf č. 2: Změna barevnosti pro jednotlivé NS

Výsledky měření barev po zrychleném zvětrávání ukázaly, že NS obsahující nanočástic CeO_2 prokázaly nejnižších hodnot změn barevnosti. Chemické modifikace vzorků nátěrů dřeva způsobené povětrnostními vlivy byly podrobeny FT-IR spektroskopií (dopad krystalu činil 47° , což odpovídá hloubce analýzy 0,2 až 5 μm). Výsledky ukázaly, že degradace akrylát polyuretanového nátěru je způsobena především ztrátou akrylátové vazby vlivem její oxidace. [21]



Graf č. 3: FTIR analýza z akrylát polyuretanového nátěru obsahující nanočástice CeO_2 a stabilizátor ligninu pro odlišné expozice
(a) $1800\text{--}650\text{ cm}^{-1}$ a (b) $3800\text{--}2600\text{ cm}^{-1}$.

5 CÍL

Dřevo, jakožto přírodní materiál, vykazuje nízkou odolnost proti povětrnostním vlivům (zejména vůči UV záření, vlhkosti), které způsobují jeho degradaci. Pro zamezení těchto vlivů je nutné dřevo chránit za pomoci sekundární ochrany, tj. aplikací vhodných nátěrových systémů.

Teoretická část práce se věnuje podrobné analýze nátěrových systémů na dřevo včetně specifikace jejich složení. Dále je provedeno rešeršní hodnocení vědeckých prací a je proveden soupis vhodných metod pro hodnocení trvanlivosti nátěrových systémů.

V experimentální části je cílem z provedených rešerší navrhnout optimální metodiku, kterou lze hodnotit životnost nátěrových systémů na dřevo. A následně u vybraných nátěrových systémů ověřit jejich životnost dle navržené metodiky po jejich vystavení krátkodobým a dlouhodobým trvanlivostním testům.

6 METODICKÝ POSTUP PRÁCE

Praktická část byla rozdělena na 3 etapy. V první etapě bude zpracovaný optimalizační výběr nátěrového systému. V druhé etapě bude navržena metodika pro posouzení trvanlivosti a v třetí etapě proběhne praktické ověření navržené metodiky u vybraných NS.

6.1 Etapa I – Optimalizační výběr NS

První etapa se bude zabývat optimalizačním výběrem NS, kde za hlavní hodnotící kritérium bude uvažováno s kritérii cena, garantovaná životnost, technologie aplikace, obsah VOC a typ pojivové báze (vodouředitelné alkydy, vodouředitelné akryláty, PUR a syntetické roztoky). U technologie aplikace se bude hodnotit, jestli se NS aplikuje formou nástřiku nebo nátěru. Následně proběhne optimalizace NS pomocí Fullerovy metody, která určí nejvhodnější NS s nejvyšší paritou k výše uvedeným kritériím.

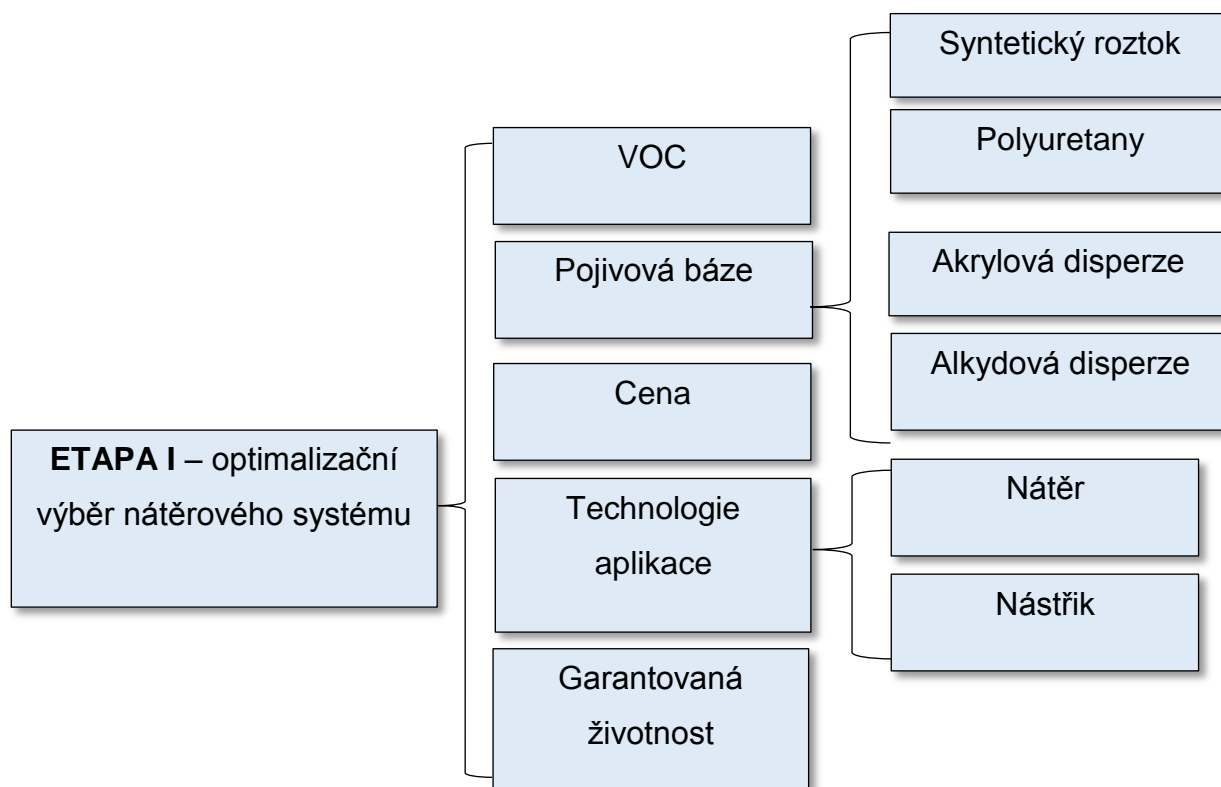
6.2 Etapa II – Metodika posouzení trvanlivosti NS

V druhé etapě bude navržena metodika pro posouzení životnosti NS pomocí jejich expozice zrychleným (krátkodobým) a dlouhodobým trvanlivostním testům. Stanoví se metodický postup zahrnující měření vybraných parametrů či vlastností pro stanovení trvanlivosti či kvality nátěrů.

6.3 Etapa III – Praktické ověření navržené metodiky u vybraných typů NS

Cílem třetí etapy je praktické ověření navržené metodiky u vybraných typů NS. Proběhne výběr NS a výběr adherendu pro nanesení NS. Následně bude provedena aplikace NS a jeho vystavení zrychleným a dlouhodobým trvanlivostním testům a v průběhu těchto expozic budou zvolené nátěrové systémy dle metodiky posuzovány.

7 ETAPA I. - OPTIMALIZAČNÍ VÝBĚR NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU



Schématické zobrazení metodiky pro etapu I

Z hlediska praktického využití se pro dřevěné prvky vystavené vnějším vlivům běžné používají tyto typy nátěrových systémů s různou pojivovou bází:

- a) disperzní vodouředitelné systémy na alkydové bázi,
- b) disperzní vodouředitelné systémy na akrylátové bázi,
- c) PUR báze,
- d) roztokové (syntetické).

7.1 Vodouředitelná alkydová báze

Patří v současnosti k nejrozšířenějším typům NS pro dřevěné podklady. Je složen z disperzí polymeru (alkydů), který tvoří rozptýlenou (dispergovanou) nerozpustnou složku ve vodě vytvářející spojitě prostředí. Alkydové pryskyřice vznikají varem dikarboxylových kyselin (např. kyseliny ftalové) s vícesytnými alkoholy (glycerol) a mastnými kyselinami. [4]

Jsou vybrány hlavní dodavatelé/výrobci NS pro dřevěné materiály dostupné v ČR. Z těchto výrobců byly vybrány reprezentativní vzorky NS s alkydovou pojivovou bází.

1. BL TELURIA, Lazurool Aqua Dekor V 1315
2. COLORLAK, Lusunol Extra S1024
3. DÜFA, Profi-Holzlasur PLND
4. BUILDING PLAST, Sokrates lazurit plus

Hodnoticí kritérium – cena

NS	Lusunol Extra S 1024	Profi-Holzlasur PLND	Lazurool Aqua Dekor V 1315	Sokrates lazurit plus
Cena [Kč/l]	271	213	336	280

Hodnoticí kritérium – technologie aplikace

NS	Lusunol Extra S 1024	Profi-Holzlasur PLND	Lazurool Aqua Dekor V 1315	Sokrates lazurit plus
Spotřeba [ml/m ²]	200	120	70-80	80-100
Doba zasychání [h]	6	4-12	24	8
Viskozita [mm ² /s]	25-35	45	22	35
Technologie aplikace	Nátěr/ Nástřik	Nátěr/ Nástřik	Nátěr/ Nástřik	Nátěr/ Nástřik
Hustota [g/cm ³]	0,88-0,90	1,01	1,02	1,03-1,11

Hodnoticí kritérium – VOC

NS	Lusunol Extra S 1024	Profi-Holzlasur PLND	Lazurool Aqua Dekor V 1315	Sokrates lazurit plus
VOC [g/l]	390	2,9	37	60

Hodnoticí kritérium – životnost

NS	Lusunol Extra S 1024	Profi-Holzlasur PLND	Lazurool Aqua Dekor V 1315	Sokrates lazurit plus
Garantovaná životnost [roky]	<i>neuveďeno</i>	<i>neuveďeno</i>	5	<i>neuveďeno</i>

7.2 Vodouředitelná akrylová báze

S vývojem disperze jako pojiva, například akryláty a kopolymery, byly také vytvořeny ředitelné barvy na principu vodní báze. V závislosti na druhu disperze však mohou být molekuly tak velké, že se drží pouze na povrchu dřeva a neprocházejí dřevěnými póry. [4]

1. SIKKENS, Cetol WF 791
2. DÜFA, Acryl-Zaunlasur DLNP
3. TIKKURILA, Valtti Opaque

4. HET, Akryl Mat
5. COLORLAK, Akrylcol Mat V 2045

Hodnoticí kritérium – cena

NS	Cetol WF 791	Acryl-Zaunlasur DLNP	Valtti Opaque	Akryl Mat	Akrylcol mat V 2045
Cena [Kč/l]	450	61	406	145	220

Hodnoticí kritérium – technologie aplikace

NS	Cetol WF 791	Acryl-Zaunlasur DLNP	Valtti Opaque	Akryl Mat	Akrylcol mat V 2045
Spotřeba [ml/m²]	80-150	200	170-250	120-170	100-120
Doba zasychání [h]	4-6	12-24	1-2	4-5	5
Viskozita [mm²/s]	neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno	180-220
Technologie aplikace	Nástřík	Nátěr/ Nástřík	Nátěr/ Nástřík	Nátěr/ Nástřík	Nátěr/ Nástřík
Hustota [g/cm³]	1,05	1,02	1,1-1,2	1,26	1,21

Hodnoticí kritérium – VOC

NS	Cetol WF 791	Acryl-Zaunlasur DLNP	Valtti Opaque	Akryl Mat	Akrylcol mat V 2045
VOC [g/l]	80	0,2	<130	130	28

Hodnoticí kritérium – životnost

NS	Cetol WF 791	Acryl-Zaunlasur DLNP	Valtti Opaque	Akryl Mat	Akrylcol mat V 2045
Garantovaná životnost [roky]	2	<i>neuvedeno</i>	<i>neuvedeno</i>	3	<i>neuvedeno</i>

7.3 Polyuretanová báze

Polyuretany se vyrábějí reakcí vícefunkčních izokyanátů s polyalkoholy. Kombinací různých polyizokyanátů a polyalkoholů lze připravit produkty nejrůznějších vlastností. Polyuretanové nátěry mají výborné mechanické vlastnosti (např. odolnost proti otěru, trvalou elasticitu), vynikající odolnost vůči působení chemikáliím, světlu a povětrnosti.

[2]

1. COLORLAK, Telpur T 300
2. REMMERS, Compact-Lack PU

3. BIOPOL, Unipur Top
4. BUILDING PLAST, Sokrates S 119
5. COLOREX, Klenod

Hodnotící kritérium – cena

NS	Telpur T 300	Compact-Lack PU	Unipur TOP	Sokrates S 119	Klenod
Cena [Kč/l]	549	101	278	238	478

Hodnotící kritérium – technologie aplikace

NS	Telpur T 300	Compact-Lack PU	Unipur TOP	Sokrates S 119	Klenod
Spotřeba [ml/m ²]	90-110	100	160-250	80-120	100-170
Doba zasychání [h]	16-24	1-4	8	2-3	12
Viskozita [mm ² /s]	>75	neuvedeno	neuvedeno	60	neuvedeno
Technologie aplikace	Nátěr/ Nástřik	Nátěr/ Nástřik	Nátěr/ Nástřik	Nátěr/ Nástřik	Nátěr/ Nástřik
Hustota [g/cm ³]	1,17-1,35	1,20	1,32	1,04	1,30

Hodnotící kritérium – VOC

NS	Telpur T 300	Compact-Lack PU	Unipur TOP	Sokrates S 119	Klenod
VOC [g/l]	84	129	91	60	130

Hodnotící kritérium – životnost

NS	Telpur T 300	Compact-Lack PU	Unipur TOP	Sokrates S 119	Klenod
Garantovaná životnost [roky]	5-10	2	2	neuvedeno	2

7.4 Roztokové (syntetické)

Pojivem jsou syntetické polymery, kdy pojivy nátěrů jsou většinou alkydové pryskyřice, polyuretany, akryláty či epoxidy. Zasychají v řádech hodin a prosychají i několik dní a tyto roztokové nátěry jsou považovány v současnosti za odolnější než vodní disperze. [2]

1. COLORLAK, Univerzal SU 2013
2. DEK, Dekfinish Lazura na dřevo
3. Remmers, HK Lazur
4. ROKO, Rokolazur Natur Thix
5. BL TELURIA, Lazuroi Classic S1023

Hodnotící kritérium – cena

NS	Univerzal SU 2013	Dekfinish Lazura na dřevo	HK Lazur	Rokolazur Natur Thix	Lazurol Classic S1023
Cena [Kč/l]	182	241	315	159	116

Hodnotící kritérium – technologie aplikace

NS	Univerzal SU 2013	Dekfinish Lazura na dřevo	HK Lazur	Rokolazur Natur Thix	Lazurol Classic S1023
Spotřeba [ml/m ²]	70-80	80-100	100-125	90-135	100-125
Doba zasychání [h]	24-48	12-16	12	12	24
Viskozita [mm ² /s]	150-250	35	80	neuvedeno	50
Technologie aplikace	Nátěr/ Nástřik	Nátěr/ Nástřik	Nátěr/ Nástřik	Nátěr/ Nástřik	Nátěr/ Nástřik
NS	Univerzal SU 2013	Dekfinish Lazura na dřevo	HK Lazur	Rokolazur Natur Thix	Lazurol Classic S1023
Hustota [g/cm ³]	1,00-1,20	0,93	0,87	0,82	0,83-0,88

Hodnotící kritérium – VOC

NS	Univerzal SU 2013	Dekfinish Lazura na dřevo	HK Lazur	Rokolazur Natur Thix	Lazurol Classic S1023
VOC [g/l]	290	<400	<399	708	600

Hodnotící kritérium – životnost

NS	Univerzal SU 2013	Dekfinish Lazura na dřevo	HK Lazur	Rokolazur Natur Thix	Lazurol Classic S1023
Garantovaná životnost [roky]	neuvedeno	5	5	2	5

Celkové zhodnocení

Výběr jednotlivých výrobků u dílčích NS s rozdílnou pojivovou bází byl proveden tak, aby byla zajištěna co nejširší a nejreprezentativnější skladba výrobků, které jsou dostupné na trhu. A to jak s ohledem na životnost, tak i s ohledem na cenu, která v sobě odráží případný obsah aditiv v nátěru zajišťující jeho vyšší životnost.

Průměrná cena u NS s alkydovou bází činí 274 Kč/l, průměrná cena u NS s akrylátovou bází je 256 Kč/l, u NS s polyuretanovou bází činí průměrná cena 329 Kč/l a u NS syntetických je průměrná cena 203 Kč/l. Nicméně z cenového průzkumu je patrné, že rozptyl cenové hladiny u nejdražších PU nátěrů je tak široký,

že se překrývá s cenovou hladinou akrylátových či syntetických NS. Lze tedy vyvodit dílčí závěr, že díky této skutečnosti nemusí hrát cena až tak výraznou roli. A důležitějším parametrem při výběru bude hrát životnost NS. Většina výrobců deklaruje až 5 letou životnost.

7.5 Optimalizace výběru dle Fullerovy metody

Z výše uvedených výrobků NS na různé pojivové bázi je uvažováno s provedením multikriteriálního výběru Fullerovou metodou. Byla zvolena následující kritéria:

1. K1-Cena (min)
2. K2-Spotřeba (min)
3. K3-VOC (min)
4. K4-Životnost (max)
5. K5-Doba zasychání (min)

Váhy jednotlivých kritérií byly tedy $K1 > K2 > K3 > K4 > K5$ Následně proběhlo označení jednotlivých NS:

Tabulka č. 4 – Druh NS a jeho označení

Lusunol Extra S 1024	A	Valtti Opaque	G	Sokrates S 119	M
Profi-Holzlasur PLND	B	Akryl Mat	H	Klenod	N
Lazurol Aqua Dekor V 1315	C	Akrylcol mat V 2045	I	Univerzal SU 2013	O
Sokrates lazurit plus	D	Telpur T 300	J	Dekfinish Lazura na dřevo	P
Cetol WF 791	E	Compact-Lack PU	K	HK Lazur	Q
Acryl-Zaunlasur DLNP	F	Unipur TOP	L	Rokolazur Natur Thix	R
				Lazurol Classic S1023	S

Po označení NS byly vypočítány váhy kritérií metodou párového srovnání, kde jsou kritéria s vyšší prioritou označeny tučně.

Tabulka č. 5 – Výpočet váhy kritéria metodou párového srovnání dle Fullerova trojúhelníku

1	1	1	1
2	3	4	5
2	2	2	
3	4	5	
3	3		
4	5		
4			
5			

Následně byly vypočítány váhy jednotlivých kritérií, které byly přepočítány, tím že ke každé preferenci se přičetla jedna navíc, aby kritérium s nejmenší vahou nemělo nulovou hodnotu.

Tabulka č. 6 – Výpočet a přepočet vah kritérií

Číslo	Počet preferencí	Váha kritéria	Přepočet preferencí	Přepočtená váha kritéria
1	4	0,4	5	0,3333
2	3	0,3	4	0,2666
3	2	0,2	3	0,2000
4	1	0,1	2	0,1333
5	0	0	1	0,0666
Σ	10	1	15	1,0000

Tabulka č. 7 – Rozhodovací matice

Číslo	Optimum	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	min	271	213	336	280	450	61	406	145	220	549
2	min	200	120	75	90	115	200	210	145	110	100
3	min	390	2,9	37	60	80	0,2	130	130	28	84
4	max	3,7	3,7	5	3,7	2	3,7	3,7	3	3,7	7,5
5	min	6	8	24	8	5	18	1,5	4,5	7,5	20
Číslo	Optimum	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1	min	101	278	238	478	182	241	315	159	116	
2	min	100	205	100	135	75	90	113	113	113	
3	min	129	91	60	130	290	400	399	708	600	
4	max	2	2	3,7	2	3,7	5	5	2	5	
5	min	2,5	9	2,5	12	36	14	12	12	24	

Podle rozhodovací matice byla vytvořena výpočtová matice dle vzorců č. 1, 2, 3, kde byly jednotlivé NS seřazeny sestupně.

$$7.6 \quad c_{ij} = F_i \cdot b_{ij} \quad (1)$$

$$b_{ij,MAX} = \frac{a_{ij} - MIN(a_i)}{MAX(a_i) - MIN(a_i)} \quad (2)$$

$$b_{ij,MIN} = \frac{MAX(a_i) - a_{ij}}{MAX(a_i) - MIN(a_i)} \quad (3)$$

Tabulka č. 8 – Výpočtová matice

Číslo	Optimum	Váha	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	min	0,333	0,189	0,229	0,145	0,183	0,067	0,333	0,097	0,276	0,224
2	min	0,266	0,019	0,177	0,266	0,237	0,187	0,019	0,000	0,128	0,197
3	min	0,200	0,089	0,199	0,189	0,183	0,177	0,200	0,163	0,163	0,192
4	max	0,133	0,041	0,041	0,072	0,041	0,000	0,041	0,041	0,024	0,041
5	min	0,066	0,058	0,054	0,023	0,054	0,059	0,034	0,066	0,060	0,055
suma	-	1,000	0,398	0,701	0,697	0,699	0,492	0,629	0,368	0,652	0,710
Pořadí:			18	4	6	5	15	10	19	8	3

Číslo	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	0,000	0,306	0,185	0,212	0,048	0,250	0,210	0,159	0,266	0,295
2	0,217	0,217	0,009	0,217	0,148	0,266	0,237	0,191	0,191	0,191
3	0,176	0,163	0,174	0,183	0,163	0,118	0,087	0,087	0,000	0,030
4	0,133	0,000	0,000	0,041	0,000	0,041	0,072	0,072	0,000	0,072
5	0,030	0,064	0,052	0,064	0,046	0,000	0,042	0,046	0,046	0,023
Suma	0,557	0,751	0,421	0,718	0,406	0,676	0,649	0,557	0,504	0,613
Pořadí	13	1	16	2	17	7	9	12	14	11

Ze všech posuzovaných nátěrů dle zvolených kritérií byl optimalizačním procesem stanoven nejlépe **polyuretanový nátěr** (K-Compact-Lack PU). Se svojí nízkou cenou při této pojivové bázi a nízkou spotřebou při relativně dlouhé životnosti je výhodnější než akrylátové NS. Díky tomuto výsledku lze konstatovat, že v dnešní době jsou některé NS s PUR bází schopné cenově konkurovat i akrylátům nebo alkydům, které patří mezi cenově lukrativnější.

8 ETAPA II. METODIKA POSOUZENÍ TRVANLIVOSTI NS

8.1 Výběr trvanlivostní zkoušky pro nátěrové systémy

Jednotlivých metod pro posuzování trvanlivosti NS je celá řada, obecné shrnutí je provedeno v teoretické části práce. Pro validitu dosažených výsledků lze preferovat výběr normativního zkoušení trvanlivostních zkoušek NS podle platných českých technických předpisů (ČSN).

- a) ČSN EN 927-3: 2012 – zkouška přirozeného stárnutí nám určuje odolnost NS aplikovaného na dřevěný podklad vnějším vlivům po dobu 12 měsíců. Délka trvání dlouhodobého testu je kratší oproti ASTM D1006 - 13 (24 měsíců) nebo oproti předpisu TP VVÚD 3.64.002 (62 měsíců).
- b) ČSN EN 927-6:2006. Díky této zkoušce lze zjistit degradaci NS na podkladu ve zrychlených testech. Normativní předpis sestává z cyklu o délce trvání 168 h (expozice NS vůči UV, vlhkosti a vysychání), měl by se opakovat 12 krát po dobu 12 týdnů.

8.2 Analýza a výběr metod pro ověření stavu nátěrového systému

K měření stavu NS lze obecně využít destruktivních (polodestruktivních) a nedestruktivních metod. Těchto metod a předpisů pro nátěrové systémy je velké množství, níže jsou optimalizovány ty metody, které mají vysokou vypovídající schopnost o stavu NS a dalším hlediskem, na který byl brán zřetel, je jejich snadná aplikovatelnost.

A. Destruktivní zkoušky

Odrhová zkouška přilnavosti (ČSN EN ISO 4624:2017) se používá pro změření minimálního tažného napětí potřebného k oddělení nebo odtržení nátěru kolmo od podkladu u jednovrstvých nebo vícevrstvých nátěrů.

Mřížková zkouška (ČSN EN ISO 2409:2013) se používá k ohodnocení přilnavosti povlaků na podkladovém materiálu, případně u vícevrstvých nátěrových systémů i jednotlivých vrstev povlaků.

B. Nedestruktivní zkoušky

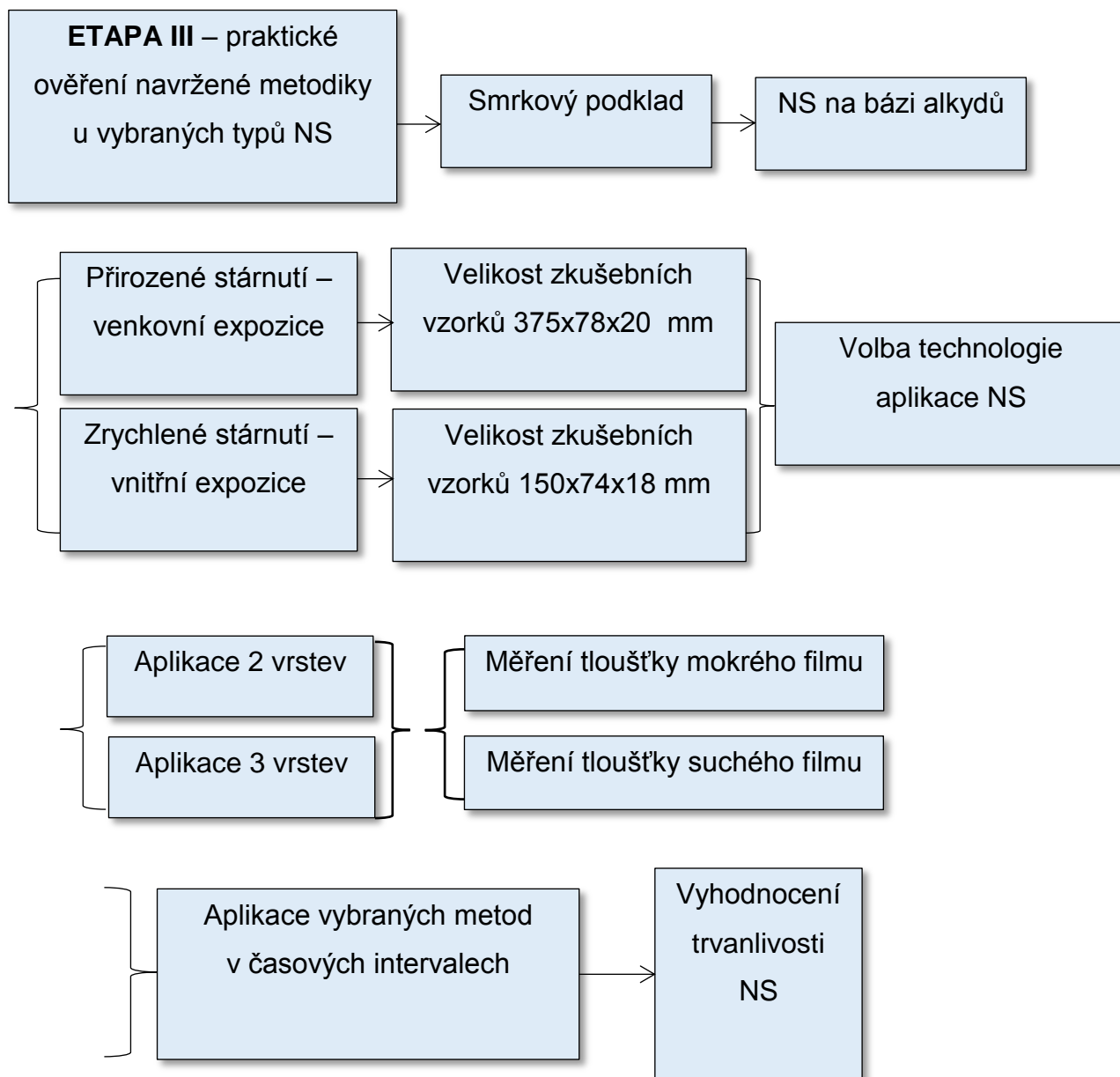
Metoda FTIR se využívá k určení chemismu pojiva, čímž lze postihnout jeho případné degradační změny.

Změna barevnosti (ČSN EN ISO 11664-4:2011) díky této metodě lze vyhodnotit změny barevnosti v průběhu trvání expozic, jak venkovní tak i vnitřní.

Měřicí hřebeny (ČSN EN ISO 2808:2007) se používají pro měření mokré vrstvy NS, díky tomuto hřebenu lze jednoduše změřit tloušťku NS hned po aplikaci na podkladový materiál.

Ultrazvuk (ČSN EN ISO 2808:2007) se používá pro měření suché vrstvy NS, v tomto případě byl použit jako primární přístroj. Jako ověřovací měření tloušťky suchého filmu bylo zvoleno měření mikroskopem dle (ČSN EN ISO 2808:2007).

9 ETAPA III. - PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ NAVRŽENÉ METODIKY VYBRANÝCH TYPŮ NÁTĚRŮ



Schématické zobrazení metodiky pro etapu III

9.1 Výběr nátěrového systému

Pro dílčí experimentální ověření navržených metod, kterými lze posoudit životnost nátěrů, byly vybrány NS na dřevo na bázi alkydů. Hlavním důvodem je ověření, zdali tato pojivová báze vykazuje obdobné trvanlivostní vlastnosti jako v současnosti nejrozšířenější NS na bázi akrylátu či polyuretanu. Konkrétní volba nátěrových systémů byla zvolena podle požadavků společnosti stavebniny DEK a.s.; a to Dekfinish (DEK), HK Lazur (Remmers) a Rokolazur (Roko).

Tabulka č. 9 – Vybrané nátěry pro aplikaci na dřevo

Název	Označení	Spotřeba [ml/m ²]	Viskozita [mm ² /s]	VOC [g/l]	Garantovaná životnost [roky]	Cena [Kč/l]
Dekfinish Lazura na dřevo	DE(1-14)	80-100	35	<400	5	241
HK Lazur	RE(1-14)	100-125	80	<399	5	315
Rokolazur Natur Thix	RO(1-14)	90-135	neuvedeno	708	2	159

9.2 Výběr adherendu (dřeviny)

Řada norem ČSN EN 927 preferuje použití borovicového dřeva. Pro účely experimentu bylo však použito smrkové dřevo, a to z toho důvodu, že smrkové dřevo je nejběžnějším materiálem používaným pro truhlářské účely. Byly vybrány vzorky, jejich čelní plocha nevykazovala defekty (suky nebo trhliny). Bylo vyrobeno 24 vzorků o rozměrech 375×78×20 mm pro aplikaci nátěrů a tyto byly určeny k expozici vnějším podmínkám (přirozené stárnutí) a 18 vzorků o rozměrech 150×74×18 mm pro aplikaci nátěrů a tyto byly určeny k expozici zrychleným trvanlivostním testům (umělé stárnutí, přístroj Q-sun).

9.3 Aplikace nátěrového systému

Povrch zkušebních vzorků byl upraven brusným papírem P150. Nátěrový systém byl na dřevěný podklad aplikován nátěrem. Pro Rokolazur se uvažovalo se spotřebou **0,09 l/m²**, pro Remmers **0,1 l/m²** a pro Dekfinish **0,08 l/m²**. Pro ověření parametrů trvanlivosti bylo u všech posuzovaných NS provedeno rozdílné množství vrstev, část vzorků byla se dvěma vrstvami, část vzorků byla se třemi vrstvami.



Obrázek č. 10: Pohled na zkušební vzorky nátěrového systému

9.3.1 Měření mokrého filmu

Po aplikování NS na podklad byla změřena **orientačně** mokrá vrstva NS pomocí měřicího hřebene. Povrch vzorků dřevěného podkladu měl spoustu nerovností,

desky nebyly hoblovány. Dílčí menší nerovnosti vzorků byly přesto odstraněny brusným papírem P150, avšak povrch vzorků tímto nebyl zcela rovný. Proto u některých NS při měření tloušťky mokré vrstvy vycházely průměrně hodnoty tloušťky nižší díky této nerovnosti povrchů.

Tabulka č. 10 – Průměrná tloušťka mokrého filmu u jednotlivých nátěrů

NS	Průměrná tloušťka mokrého nátěru [μm]		
	1 nátěr	2 nátěr	3 nátěr
DE	115	105	80
RE	135	110	120
RO	100	95	85

9.4 Měření suchého filmu

Před měřením tloušťky suchého filmu proběhla aklimatizace zkušebních těles po dobu 7 dní při parametrech prostředí (20 ± 2) °C a relativní vlhkost (65 ± 5) % (v souladu s ISO 554). Měření tloušťky suché vrstvy NS bylo provedeno pomocí dvou metod. Všechny nátěrové systémy byly změřeny ultrazvukovou metodou a vybrané nátěry pro ověření tloušťky byly změřeny pomocí mikroskopu.



Obrázek č. 11: Rozčlenění měřících bodů na vzorcích pro měření tloušťky pomocí UTS

9.4.1 Měření tloušťky suchého filmu pomocí ultrazvuku

Měření proběhlo pomocí ultrazvukového přístroje PosiTector 200. Měření na každém zkušebním vzorku probíhalo na 5 různých místech, viz obrázek č. 11. Průměrné hodnoty tlouštěk nátěrů jsou uvedeny v následující tabulce č. 11.

Tabulka č. 11 – Naměřená tloušťka suchého filmu u jednotlivých nátěrů pomocí UTS před samotnými expozicemi

Expozice	Počet nátěrů	Dekfinish lazura na dřevo	Remmers HK lazur	Rokolazur natur thix
		Průměrná tloušťka NS suchého filmu [μm]		
Exteriér	2	62	65	53
	3	71	92	71
Interiér	2	55	57	48
	3	64	78	61

9.4.2 Měření tloušťky suchého filmu pomocí mikroskopu

Měření proběhlo pomocí mikroskopu LEICA, měření probíhalo v průchozím světle přes preparát. Preparát (vzorek nátěru se dřevěným adherendem) byl odebrán kolmo na tloušťku nátěru pomocí ostrého břitů v tloušťce umožňující průchod světelného paprsku. Tloušťka byla vyhodnocena pro konkrétní zvětšení dle použitého objektu pomocí softwaru mikroskopu. V zorném poli byla tloušťka pro každý preparát měřena 5×, průměrné hodnoty tlouštěk nátěrů jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Tabulka č. 12 – Naměřená tloušťka suchého filmu u jednotlivých nátěrů pomocí mikroskopu

Typ NS	Expozice	Počet nátěrů	Tloušťka suchého filmu [μm]
DE	Int	2	65
		3	84
RE	Int	2	72
		3	94
RO	Int	2	59
		3	75

Z naměřených hodnot je zřejmé, že naměřené průměrné tloušťky suchého filmu u všech posuzovaných nátěrových systémů byly nižší při použití metody měření ultrazvukem než za použití mikroskopu. Metoda měření tloušťky filmu optickou metodou je přesnější a má vyšší vypovídací schopnost. Přesto porovnání těchto hodnot při využití obou metod lze vyčíst závislost, že hodnoty stanovené mikroskopem vykazaly vyšší hodnoty tlouštěk v přibližně stejném násobku (15 až 20%). Při znalosti této závislosti lze měřit tloušťku nátěrů i pomocí UTS, kdy tato metoda je schopna relevantní poskytnout údaje o tloušťce suchého filmu.

9.5 Trvanlivostní zkoušky

9.5.1 Zrychlené zkoušky trvanlivosti

Výhodou u krátkodobé expozice je ta skutečnost, že každý cyklus je téměř identický a tím se vylučuje kolísání teplot a různé množství srážek. Krátkodobá zrychlená expozice probíhala dle normy ČSN EN 927-6. Zkouška probíhala v přístroji Q-sun. Jeden cyklus v této zkoušce zahrnoval kondenzaci (24 h), záření ve vlnových délkách 340-420 nm (2,5 h), klopení vodou (0,5 h).

Princip komory Q-SUN XE3 HS pro krátkodobou expozici

Reprodukuje degradaci způsobené plným spektrem slunečního záření a deště. Během několika dnů nebo týdnů může Q-Sun reprodukovat degradaci, ke kterému dochází v průběhu měsíců nebo let venku. Q-Sun využívá tři samostatné xenonové výbojky s velkou kapacitou. Je vhodný pro expozici velkých, trojrozměrných částí nebo součástí. Q-SUN má také možnost dvojího rozprašování, nabízí standardní regulaci vlhkosti a volitelné rozprašování, zpětné rozprašování. Také je jedinou xenonovou testovací komorou, která má možnost dvojího rozprašování. To umožňuje rozprašování druhé kapaliny, jako jsou kyselé deště nebo mýdlové roztoky, které se střídají v rozprašování na zkušební vzorky. [22]



Obrázek č. 12: Přístroj Q-sun pro zrychlenou expozici



Obrázek č. 13: Stav nátěrových systémů po 3 cyklech v komoře Q-sun

9.5.2 Dlouhodobé zkoušky trvanlivosti

Nevýhodou u dlouhodobé expozice je ta skutečnost, že se klimatické podmínky mění relativně rychle. Teplota a množství srážek jsou proměnné. Dlouhodobá expozice se posuzuje dle normy ČSN EN 927-3. Pro dlouhodobou expozici byly zkušební vzorky na stojanu umístěny horizontálně pod úhlem 45°. Stojan byl následně orientován na jižní stranu. U dlouhodobé expozice jeden cyklus odpovídá 1 měsíci. Vzorky byly vystaveny na v 04/2018.



Obrázek č. 14: Stojan pro venkovní dlouhodobou expozici



Obrázek č. 15: Stav nátěrových systémů po 2 měsících ve venkovní expozici

9.6 Posouzení nátěrového systému

K posouzení nátěrového systému byla vybrána změna barevnosti a zjištění přilnavosti pomocí mřížkové zkoušky.

9.6.1 Změna barevnosti

Změna barevnosti byla vypočítána dle normy ČSN EN ISO 11664-4 a měřila se pomocí spektrofotometru Konica Minolta SM-600d. Měřilo se na 6 místech (viz obrázek č. 17), které se posléze zprůměrovaly. V normalizovaném standardu CIE jsou normalizovány pouze dvě soustavy a to CIE 1976 (L^* u^* v^*) označována jako CIELUV a soustava CIE 1976 (L^* a^* b^*) zkrácené označována jako CIELAB.

CIELAB je určena třemi vzájemně kolmými osami L^* , a^* , b^* . Vynese-li se souřadnice b^* v závislosti na souřadnici a^* do pravoúhlé soustavy souřadnic, neodpovídají takto vzniklé body jednoznačně určité barvě, protože jejich poloha závisí na velikosti měrné světlosti L^* . Vzdálenost ΔE^*_{ab} (změna barevného odstínu) dvou bodů barev

charakterizovaných souřadnicemi L^* , a^* , b^* se počítá dle rovnice pro rozdíl barev CIE 1976 (ab).

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (4)$$



Obrázek č. 16: Rozčlenění měřících bodů na vzorcích pro měření barevnosti

9.6.2 Přílnavost nátěru

Zkušební metoda přílnavosti pomocí mřížkové zkoušky určuje odolnost nátěru vůči oddělení od podkladu, kdy nátěr je proříznut mřížkou k podkladu. Provede se 6 řezů a 6 kolmých řezů, které se ohodnotí následně podle stupnice z tabulky č. 2. Stanovuje se dle ČSN EN ISO 2409:2013.

10 VÝSLEDKY A DISKUZE ZKOUŠEK

10.1 Změna barevnosti

Vyhodnocení je provedeno pro vzorky vystavené zrychlenému trvanlivostnímu testu, tak i pro vzorky vystavené dlouhodobé venkovní expozici.

Tabulka č. 13 – Naměřené průměrné hodnoty změny barevnosti ΔE u jednotlivých nátěrů

Cyklus	Vrstvy	Průměrná hodnota ΔE u nátěrových systémů		
		DE	RE	RO
2	2	2,14	3,14	1,59
	3	6,81	0,06	3,02
3	2	2,45	3,49	2,64
	3	7,41	0,71	4,57
Měsíc	Vrstvy	DE	RE	RO
1	2	3,72	1,53	1,75
	3	4,88	1,87	2,32
2	2	2,95	0,75	1,24
	3	4,04	0,48	1,81

10.1.1 Zrychlená trvanlivostní zkouška

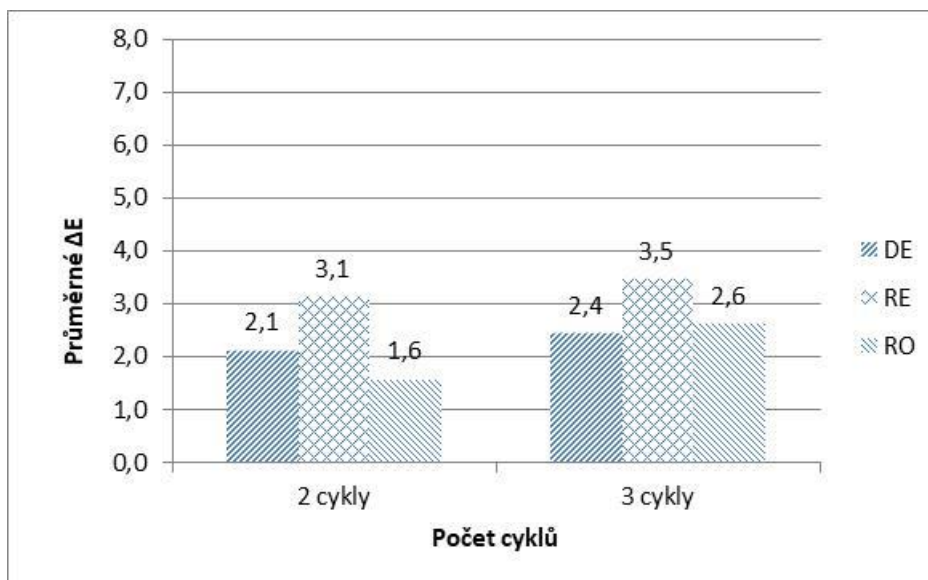
V rámci zkoušky bylo provedeno 6 měření na každém vzorku, průměrné hodnoty z těchto šesti měření jsou uvedeny v předchozí tabulce č. 13. Již po prvních cyklech došlo k změnám barvy a lesku, postřehnutelným pouhým okem, viz obrázek č. 17.



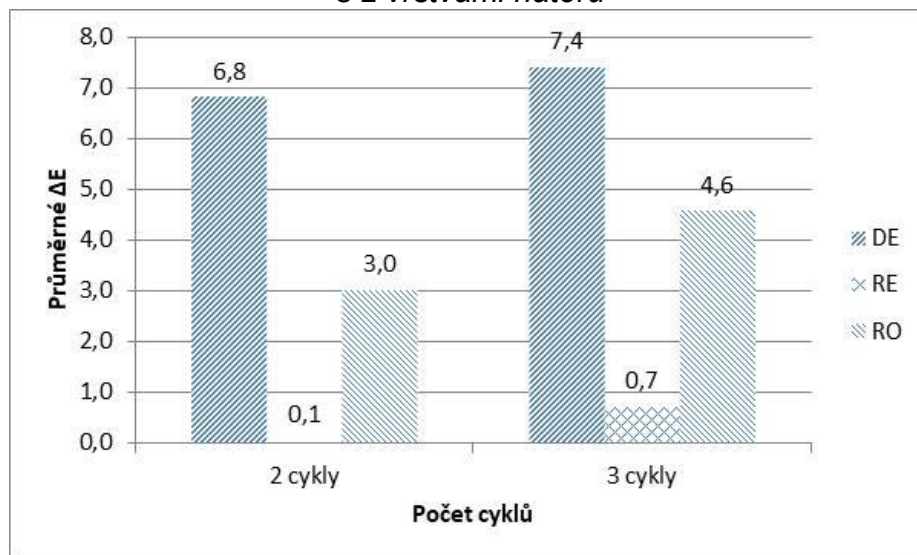
Obrázek č. 17: Změna barvy a lesku po 3 cyklech zrychlené trvanlivostní zkoušky vůči referenčnímu vzorku u NS Rokolazur

Z grafů je patrné, že se zvyšující se dobou expozice vzorků vůči působení agresivních činitelů dochází ke zvyšující se barevné změně nátěrů. Z trendu nárůstu barevných změn je patrné, že na jejich hodnotu má vliv i počet vrstev nátěrů. U dvou nátěrových systémů byl dosažen poměrně významný nárůst barevné změny pro třívrstvé nátěry oproti dvouvrstevným nátěrům po jejich expozici 3 cyklů. Tento nárůst

činil 77,0% pro vzorky RE; a daleko výraznější nárůst změny barevnosti až dvojnásobnou hodnotou pro DE). Přesnou příčinu v tuto chvíli bez chemické analýzy pojivové báze nelze určit, neboť dle předpokladu by trojvrstvý nátěrový systém měl vykazovat větší barevnou stálost. Předpokládaný trend stálobarevnosti u nátěrů vykazující vyšší tloušťku (třívrstvý nátěr) byl potvrzen u vzorků Rokolazur.



Graf č. 4: Změna barevnosti po 2 a 3 cyklech krátkodobé expozice s 2 vrstvami nátěru

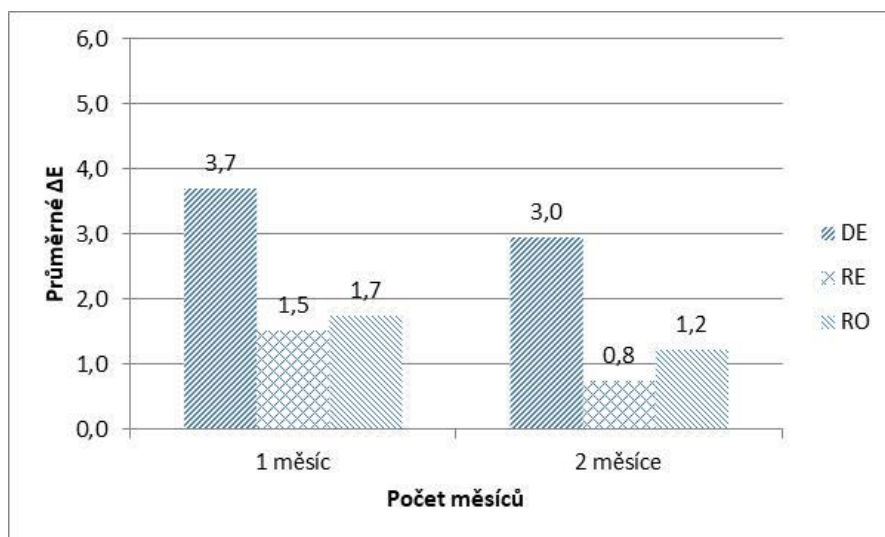


Graf č. 5: Změna barevnosti po 2 a 3 cyklech krátkodobé expozice s 3 vrstvami nátěru

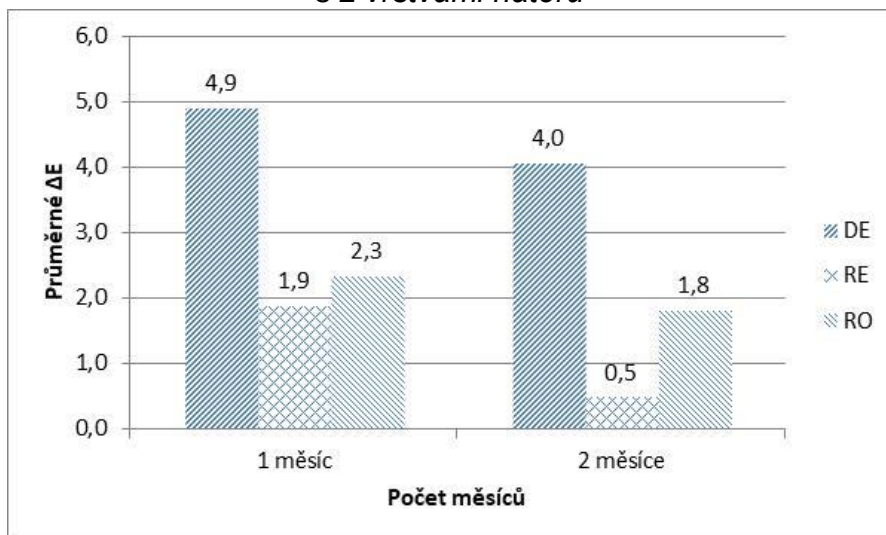
10.1.2 Dlouhodobá trvanlivostní zkouška

V rámci zkoušky bylo provedeno 6 měření na každém vzorku, průměrné hodnoty z těchto šesti měření jsou uvedeny v tabulce č. 13. U posuzovaných nátěrových systémů došlo oproti předpokladu ke snižování změny barevnosti, což se projevilo u všech vzorků s aplikovanými dvěma a třemi vrstvami nátěru. U třívrstvých nátěrů

byl oproti předpokladům dosažen vyšší nárůst barevné změny oproti dvouvrstvým nátěrům po 2 měsíční expozici (o 33,3 % pro DE; o 50,0 % pro RO). Dle předpokladu by trojvrstvý systém měl vykazat větší barevnou stálost, nicméně ve dvou případech byly hodnoty změny barevnosti u třívrstvých systémů vyšší než u 2vrstvých, kromě NS Remmers. V tuto chvíli však nelze činit jednoznačné závěry, neboť jsou barevné změny posouzeny pouze po 2měsíční expozici.



Graf č. 6: Změna barevnosti po 1 a 2 měsících dlouhodobé expozice s 2 vrstvami nátěru



Graf č. 7: Změna barevnosti po 1 a 2 měsících dlouhodobé expozice s 3 vrstvami nátěru

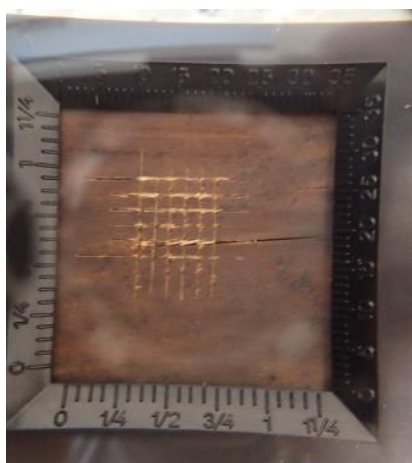
10.2 Přílnavost nátěru

Mřížková zkouška byla provedena na vzorcích nátěrů se dvěma a třemi vrstvami. Následně byla vizuálně zhodnocena a přiřazena ke stupni poškození určující kvalitu přídržnosti.

Tabulka č. 14 – Stupeň přilnavosti nátěrů po 3 cyklech krátkodobé trvanlivostní zkoušky a 2 měsíční expozice ve venkovních podmínkách

Expozice	Počet nátěrů	Počet cyklů	Dekfinish lazura na dřevo	Remmers HK lazur	Rokolazur natur thix
			Stupeň přilnavosti		
Referenční vzorky	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
Exteriér	2	2 měsíce	1	1	1
	3	2 měsíce	1	0	1
Interiér	2	3 cykly	2	2	2
	3	3 cykly	1	1	1

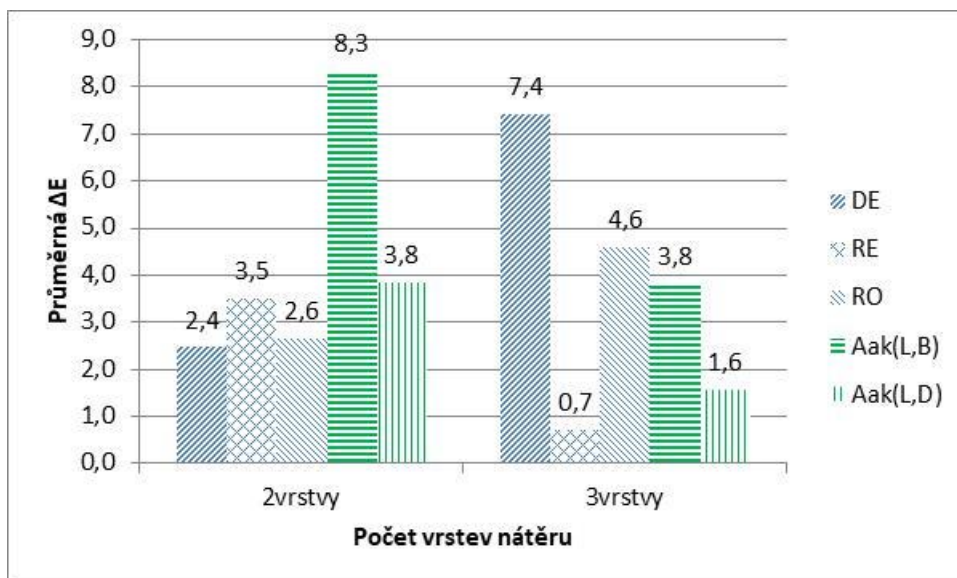
V tabulce č. 14 je patrné, jak jednotlivé NS se dvěma vrstvami po 3 cyklech krátkodobé expozice ztrácí přilnavost k dřevěnému podkladu, zatímco nátěry se třemi vrstvami prokazují menší schopnost nátěru ztrácet přilnavost od dřevěného podkladu. U dlouhodobé expozice je z výsledků patrné, že nátěr dle předpokladu ztrácí přilnavost po delší době expozice v menší míře než při expozici 3 cyklům krátkodobé trvanlivostní zkoušce.



Obrázek č. 18: Mřížková zkouška na vzorku RO u krátkodobé trvanlivostní expozici

10.3 Komparace trvanlivosti alkydových a akrylátových nátěrů

V rámci diplomové práce [21] byla experimentálně mimo jiné ověřena trvanlivost nátěrových systémů na akrylátové bázi pomocí zrychlených zkoušek. Pro adekvátní porovnání, zdali vykazují levnější lazurovací alkydové nátěry obdobných trvanlivostí jako lazurovací akrylátové nátěry, je provedena v následujícím grafu č. 8 třívrstevných systémů. Tloušťky suchých filmů všech posuzovaných NS se nacházejí ve stejných hodnotách.



Graf č. 8: Rozdíl změny barevnosti NS vůči jednotlivým vrstvám alkydových i akrylátových NS pro zrychlenou trvanlivostní zkoušku, (L) – lazurovací, (D) – systém Duraflex, (B) – běžně používaný systém

U třívrstevných NS vyjma jednoho reprezentanta alkydových bází byly po 3 cyklech působení zrychleného trvanlivostního testu zjištěny obdobné hodnoty změny barevnosti, jako které vykázaly nátěrové systémy na akrylátové bázi. Pro přesnější vyhodnocení je nutné počkat na výsledky barevných změn po uplynutí celého 12 týdenního cyklu.

11 ZÁVĚR

Výstupem bakalářské práce bylo optimalizovat metody pro stanovení trvanlivosti nátěrových systémů na dřevo. V teoretické části byly rozebrány analýzy nátěrových systémů na dřevo včetně specifikace jejich složení a dále byly popsány trvanlivostní metody. Jsou popsány i způsoby, jakým se přistupuje ke zkoušení nátěrových hmot. Jako nejvhodnější nedestruktivní metoda se jeví metoda měření změny barevnosti, kde na jednotlivých vzorcích při dlouhodobé nebo krátkodobé expozici je možné pozorovat změnu barevnosti již po krátkých časových intervalech expozice vůči vnějším činitelům (zejména vůči UV záření). Dále je vhodná polodestruktivní mřížková zkouška, která je nenáročná a relativně rychlá. Stanoví schopnost materiálu ztrácet přilnavost už po pár cyklech při krátkodobé zrychlené zkoušce či měsících při dlouhodobé trvanlivostní zkoušce.

V experimentální části byl proveden optimalizační výběr nátěrových systémů, kde jako nejvhodnější nátěrový systém ze skupiny nátěrových systémů na různých pojivových bázích byl vyhodnocen polyuretanový nátěr.

V rámci ověření navržené metodiky byly vybrané druhy alkydových nátěrových systémů vystaveny zrychleným a dlouhodobým trvanlivostním zkouškám. V průběhu expozice vnějším činitelům byla průběžně kvantifikována míra změny barevnosti. Byl posuzován i vliv počtu vrstev nátěrů na stálobarevnost. Oproti předpokladu po expozici těles vnějším činitelům byl u nátěrových systémů zjištěn efekt výraznější změny barevnosti u třívrstvých systémů oproti dvojvrstevným (vyjma jednoho alkydového nátěru). Tento trend byl zjištěn jak u krátkodobých zrychlených, tak i u dlouhodobé trvanlivostní zkoušce. Jelikož se jedná o vyhodnocení po kratším době expozice zkušebních vzorků vůči vnějším činitelům a nebyla provedena analýza případné degradace pojivové části, nelze v tuto chvíli dosažený trend blížeji analyzovat. V případě kvality nátěrů pomocí použití mřížkové zkoušky vykazaly všechny alkydové nátěry poměrně stejných hodnot snížení jejich přilnavosti. U této zkoušky byl ověřen pozitivní efekt větší tloušťky nátěru zajišťující trvanlivější spoj.

Důležitým aspektem je i porovnání trvanlivosti nátěrů z hlediska pojivové báze. Pro tyto účely bylo provedeno porovnání s běžnými akrylátovými nátěry na dřevo vystavených zrychleným povětrnostním zkouškám. Bylo zjištěno, že cenově dostupnější alkydové lazury prokázaly po 3 cyklech expozice vůči vnějším vlivům obdobných hodnot změn barevnosti jako akrylátové nátěrové lazurovací systémy.

BIBLIOGRAFIE

- [1] M. Vlad-Cristea, B. Riedl, P. Blanchet a E. Jimenez-Pique, „Nanocharakterization techniques for investigating the durability of wood coatings in European,“ *Polymer Journal* 48, pp. 441-453, 2012.
- [2] I. Kučerová. [Online]. Available: <https://www.studioaxis.cz/images/pamatky2005/kucerova.pdf>.
- [3] J. Žák, *Ochrana dřeva ve stavbě: odborná příručka pro stavebníky, investory, projektanty a architekty*, Praha: ARCH, 1998.
- [4] J. T. D. Hein, *Holzschutz: Holz und Holzwerkstoffe erhalten end veredeln*, Tamm: Wegra Verlag GmbH, 1998.
- [5] E. Šimůnková a I. Kučerová, *Dřevo*, Praha: STOP, 2000.
- [6] D. G. Weldon, *Failure Analysis of Paints and Coatings*, West Sussex: John Wiley and sons, 2009, p. 59.
- [7] A. S. Khanna, *High-Performance Organic Coatings*, New York Washington, DC: CRC Press LLC, 2008, p. 151.
- [8] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, John Wiley and Sons, 2010.
- [9] C. ING. VÍT MOTYČKA, „www.lences.cz,“ 2005. [Online]. Available: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BW02-Technologie%20stavebnich%20praci%20II/M09-Procesy%20vnitri%20a%20dokoncovaci%20-%20natery.pdf>.
- [10] P. Nanetti, *Coatings from A - Z*, 2nd Revised Edition editor, Hanover: Vincentz Network, 2016, p. 25.
- [11] I. R. M. C. Ing. Zdenka Kupčáková, „sweb.cz,“ SYNPO, akciová společnost, [Online]. Available: http://zdenka.psenickova.sweb.cz/clanek_spektra.htm.
- [12] U. Pardubice, „www.upce.cz,“ [Online]. Available: <https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/luva3059/hodnoc-mech-vlast.pdf>. [Přístup získán 12 4 2018].
- [13] [Online]. Available: https://www.opi.zcu.cz/Zkousky_tvrlosti.pdf. [Přístup získán 14 květen 2018].
- [14] [Online]. Available: http://www.sci.muni.cz/~sulovsky/Vyuka/Lab_metody/Infracervena_spektroskopie.pdf. [Přístup získán 14 květen 2018].
- [15] Gamin, „www.gamin.cz,“ Omega Design, s.r.o., [Online]. Available: <https://www.gamin.cz/tloustka-mokre-vrstvy/>.
- [16] D. Corporation, „www.defelsko.com,“ [Online]. Available: <https://www.defelsko.com/resources/ultrasonic-thickness-measurement-of-uv-cured-coatings-on-rigid-substrates>.
- [17] „Gamin s.r.o,“ Omega Design, s.r.o., [Online]. Available: <https://www.gamin.cz/tloustka-vrstvy-destruktivni/>. [Přístup získán 24 květen 2018].
- [18] „Konica Minolta Sensing Americas Company Profile,“ [Online]. Available: <https://sensing.konicaminolta.us/products/cm-600d-spectrophotometer/>. [Přístup

získán 24 květen 2018].

- [19] „Konica Minolta Sensing Americas Company Profile,“ [Online]. Available: <https://sensing.konicaminolta.us/blog/specular-component-included-sci-vs-specular-component-excluded-sce/>. [Přístup získán 24 květen 2018].
- [20] P. Ptáček, *Ochrana dřeva ve stavbách*, 1. editor, Praha: Grada Publishing a. s., 2009, p. 78.
- [21] D. K. Y. B. A. P. Sudeshna Saha, „*Surface degradation of CeO₂ stabilized acrylic polyurethane coated thermally treated jack pine during accelerated weathering*,“ *Applied Surface Science*, pp. 86-94, 2013.
- [22] „Q-Lab Corporation,“ Q-Lab, [Online]. Available: <http://www.q-lab.com/products/q-sun-xenon-arc-test-chambers/q-sun-xe-3>. [Přístup získán 23 květen 2018].
- [23] I. Bednářová, 2017. [Online]. Available: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/64570/35938.pdf?sequence=-1>. [Přístup získán 23 květen 2018].

SEZNAM POŽITÝCH NOREM

ČSN EN 927-1. *Nátěrové hmoty – Nátěrové hmoty a nátěrové systémy pro dřevo ve vnějším prostředí – Část 1: Klasifikace a volba*. Praha: Český normalizační institut, 2013

ČSN EN 2808. *Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Český normalizační institut, 2007

ČSN EN 927-3. *Nátěrové hmoty - Nátěrové hmoty a nátěrové systémy pro dřevo ve vnějším prostředí -Část 3:Zkouška přirozeným stárnutím*. Praha: Český normalizační institut, 2012

ČSN EN ISO 2810. *Nátěrové hmoty -Přirozené stárnutí nátěrů Expozice a hodnocení*, Praha: Český normalizační institut, 2005

ČSN EN ISO 15110. *Nátěrové hmoty – Umělé stárnutí s depozicí kyselých srážek*, Praha: Český normalizační institut, 2018

ČSN EN ISO 11664-4, *Kolorimetrie – Část 4: Kolorimetrický prostor CIE 1976 L*a*b**, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011

ČSN EN 927-6. *Nátěrové hmoty -Nátěrové hmoty a nátěrové systémy pro dřevo ve vnějším prostředí -Část 6: Expozice povlaků dřeva umělému stárnutí s použitím fluorescenční UV lampy a vody*, Praha: Český normalizační institut, 2007

ASTM D1006 / D1006M-13, *Standard Practice for Conducting Exterior Exposure Tests of Paints on Wood*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013

ASTM D4587-11, *Standard Practice for Fluorescent UV-Condensation Exposures of Paint and Related Coatings*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011